



Eva Dalila Henriques Ferreira

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

Zonas húmidas como depuradoras de poluição

Caso do Paul de Tornada

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente

- Perfil Gestão e Sistemas Ambientais -

Orientador: Professor Doutor Pedro Manuel da Hora
Santos Coelho, FCT/UNL

Co-orientador: Professor Doutor João Miguel Dias Joanaz
de Melo, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues
Vogais: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral
Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora dos Santos Coelho
Prof. Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2013

Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Eva Dalila Henriques Ferreira

Zonas húmidas como depuradoras de poluição

Caso do Paul de Tornada

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente
– Perfil Gestão e Sistemas Ambientais –

Lisboa
Dezembro 2013

Copyright © 2013: Eva Dalila Henriques Ferreira, FCT/UNL, UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus pais e irmãos

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Doutor Pedro Santos Coelho pela orientação, aconselhamento, disponibilidade e partilha de conhecimentos imprescindíveis para a realização deste trabalho. Agradeço igualmente, todo o optimismo e incentivo ao longo desta etapa.

Agradeço também ao meu co-orientador, o Professor Doutor João Joanaz de Melo, por todas as sugestões, pela “irrequietude” de espírito e pelo apoio e entusiasmo indispensáveis no desenvolvimento deste trabalho.

À Associação PATO, em especial à Teresa Lemos pela disponibilidade, simpatia, apoio e disponibilização de informação sobre a RNL-PT.

À Câmara Municipal das Caldas da Rainha, em especial a Manuela Faustino (Serviços Municipalizados) e a José António (Protecção Civil) pela disponibilidade.

À Professora Doutora Paula Sobral e ao Professor Doutor João Morais pela disponibilização de alguma da bibliografia referente, respectivamente, a zonas húmidas e a depuração de poluentes. Sem dúvida, esses elementos foram importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Doutor João Cabral da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) pela amabilidade de facultar, para consulta, um exemplar do projecto final de curso sobre a importância das zonas húmidas no restabelecimento da qualidade da água, do qual foi orientador.

À Inês Oliveira pela troca de ideias e material na fase inicial deste trabalho, ao meu irmão Nelson pelo tratamento e edição de algumas das figuras que integram este trabalho, ao meu irmão Gil pela revisão do resumo em inglês, à Cláudia pelo auxílio na revisão da subsecção relativa à geologia e geomorfologia e à Ana pelo contributo na revisão de alguns textos.

Um agradecimento muito especial aos meus Pais e Irmãos, que acompanharam de perto todo o meu esforço durante a jornada académica e, sempre tiveram uma palavra amiga e positiva, mesmo nos momentos mais difíceis deste percurso. Obrigada pelo carinho, compreensão e força que me deram. Obrigado por tudo.

Ao Pedro pelo apoio, amor, carinho, amizade, compreensão e paciência em todos os momentos; e por me fazer acreditar.

A todos os meus amigos e colegas de curso do IST e da FCT que marcaram e continuam a marcar a minha vida. Uma referência especial aos meus amigos Ana Ideias, Antero Silva,

Alexandra Nogal, Cláudia Santos, Cristina Santos, Inês Amendoeira, Pedro Melo, Rita Ferreira, Susana Rolo e Tatiana Valada.

Aos meus companheiros do Curso de Liderança 2012, que comigo viveram uma experiência que sem dúvida constitui um marco nas nossas vidas. Se no início desta jornada “*não eramos nem bons nem maus... Éramos somente um bando. Hoje, hoje somos uma equipa*”.

A todos os professores que ao longo do meu percurso escolar contribuíram para a minha formação, possibilitando-me chegar a esta etapa. Um agradecimento especial à professora Dulce, a minha professora primária, que me ensinou a brincar com as letras e os números, guiando os meus primeiros passos no mundo mágico do conhecimento.

Obrigado a todos.

Resumo

O Paul de Tornada é uma das últimas zonas húmidas de água doce existentes na região oeste. Está classificado como *Zona Húmida de Importância Internacional*, no âmbito da Convenção de Ramsar e desde 2009 é reconhecido, ao abrigo da legislação nacional, como Reserva Natural Local do Paul de Tornada (RNL-PT). Situado no concelho das Caldas da Rainha, este sistema palustre, além dos valores naturais e da importância para a conservação da biodiversidade, proporciona várias funções/serviços ambientais que se traduzem em benefícios directos e indirectos para o ser humano.

Contudo, esta zona húmida encontra-se sujeita a alguns factores de perturbação externos que levam, inevitavelmente, a uma degradação da RNL-PT, nomeadamente a poluição proveniente de efluentes de origem urbana, industrial e agrícola.

Foi dentro deste âmbito e com o intuito de contribuir para um maior conhecimento sobre esta zona húmida, que se desenvolveu o presente trabalho, procurando identificar alguns dos serviços prestados pelo Paul. Este estudo focou-se em dois desses serviços, tendo por objectivo principal a avaliação do potencial depurador do Paul de Tornada e da sua contribuição no controlo de cheias.

O estudo da depuração foi efectuado com base num caso de estudo, o Paul de Arzila, que comprova a capacidade depuradora destes ecossistemas. Relativamente ao estudo das cheias foram estimados os caudais de ponta através de dados de precipitação máxima diária anual e determinados, posteriormente, os hidrogramas de cheias e os respectivos volumes de escoamento.

A análise e discussão dos resultados obtidos conduziram à identificação de medidas que contribuem para melhorar o funcionamento do sistema em estudo, entre as quais a monitorização periódica/contínua da qualidade da água, a limpeza regular das valas e a adopção de medidas que visem evitar e/ou minimizar a degradação dos solos. Foram ainda efectuadas algumas recomendações para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Zonas húmidas; Paul de Tornada; Serviços ambientais; Depuração; Qualidade da água; Controlo de cheias

Abstract

The Tornada marsh is one of the last freshwater wetlands of the western region. It is classified as a Wetland of International Importance under the Ramsar Convention and is recognized under national law, such as Local Nature Reserve of Tornada Marsh, since 2009. Located in the city of Caldas da Rainha, this palustrine system, apart from the natural values and importance for biodiversity conservation, provides various environmental functions/services that promote direct and indirect benefits to humans.

However, this wetland is subject to some external stress factors that lead inevitably to a degradation of Tornada marsh, such as pollution from urban, industrial and agricultural effluents.

In this context, and in order to contribute to a better understanding of this wetland, the present work was developed to identify some of the services provided by marsh. This study focused on two of these services, with the primary objective to assess the potential depuration of Paul Tornada and its contribution to flood control.

The study of depuration was performed based on a case study, the Paul de Arzila, which proves the purifying capacity of these ecosystems. Regarding study of flood maximum flows were estimated using precipitation data and subsequently flood hydrographs along with their volumes of runoff.

The analysis and discussion of the results led to the identification of measures which improve the functioning of the system under study such as, water quality periodic/continuous monitoring, regular ditch cleaning and the adoption of measures toward prevention and/or minimization of soil degradation. Some recommendations were also given for future work.

Keywords: Wetlands; Tornada marsh; Ecosystem services; Depuration, Water quality; Flood control

Abreviaturas e Acrónimos

ARH	Administração de Região Hidrográfica, I.P.
CEEPT	Centro Ecológico e Educativo do Paul de Tornada
CM	Câmara Municipal
DL	Decreto-Lei
DQA	Directiva-Quadro da Água
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
DGF	Direcção Geral de Florestas
GEOTA	Grupo de Estudos de Ordenamento do Território e Ambiente
ICN	Instituto da Conservação da Natureza
ICNB	Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade, I.P.
ICNF ¹	Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas, I.P.
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
INAG	Instituto da Água, I.P.
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NUT	Nomenclatura de Unidade Territorial
ONGA	Organização Não Governamental de Ambiente
PATO	Associação de Defesa do Paul de Tornada
PDM	Plano Director Municipal
PGBH	Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica
PGRH	Plano de Gestão de Região Hidrográfica
PMDA	Precipitação Máxima Diária Anual
PTA	Precipitação Total Anual
RAN	Reserva Agrícola Nacional
RCM	Resolução do Conselho de Ministros
REN	Reserva Ecológica Nacional
RFCN	Rede Fundamental de Conservação da Natureza
RNAP	Rede Nacional de Áreas Protegidas
RNL-PT	Reserva Natural Local do Paul de Tornada
RNPA	Reserva Natural do Paul de Arzila
SNAC	Sistema Nacional de Áreas Classificadas
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
ZEC	Zona Especial Conservação
ZEP	Zona de Protecção Especial

¹ O ICNF sucede ao ICNB, organismo que resultou da reestruturação do ICN e da DGF.

Simbologia e notações

A	Área
a	Parâmetro da curva de possibilidade udométrica
c	Coeficiente da Fórmula Racional
CBO ₅	Carência Bioquímica de Oxigénio a cinco dias
CQO	Carência Química de Oxigénio
h	Altura máxima de precipitação
\overline{H}	Altura média da bacia hidrográfica
\bar{i}	Intensidade média de precipitação
L	Comprimento da linha de água principal
n	Parâmetro da curva de possibilidade udométrica
Q	Caudal
Q _p	Caudal de ponta de cheia
S	Declive médio da linha de água
t	Tempo
t _c	Tempo de concentração
V	Volume
V _{escoamento}	Volume de escoamento
Δh	Diferença de cota

Índice de matérias

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Âmbito e Objectivos.....	2
1.3	Estrutura da dissertação	2
2	Águas interiores superficiais	5
2.1	Enquadramento	5
2.2	Quadro legal aplicável às massas de água naturais superficiais	6
3	Zonas Húmidas	9
3.1	Enquadramento	9
3.2	Pauis.....	11
3.3	Estrutura e funcionamento das zonas húmidas	12
3.4	Valores, funções e serviços ambientais das zonas húmidas.....	15
3.5	Zonas húmidas como depuradores de poluição hídrica	21
3.6	Zonas húmidas no controlo de cheias.....	25
3.6.1	O papel das zonas húmidas na regulação de cheias	25
3.6.2	Conceitos utilizados no estudo das cheias	27
3.7	Convenção de Ramsar e outros instrumentos de direito internacional e comunitário	33
3.8	As Zonas Húmidas em Portugal.....	38
3.8.1	Enquadramento	38
3.8.2	A implementação da Convenção de Ramsar em Portugal	40
3.8.3	Aspectos legais relativos à Conservação da Natureza	42
4	Metodologia.....	45
4.1	Abordagem e Faseamento.....	45
4.2	Processo metodológico e tratamento dos dados	46
	<i>Regime de precipitação</i>	<i>46</i>
	<i>Depuração de poluentes.....</i>	<i>47</i>
	<i>Estudo das cheias.....</i>	<i>49</i>
5	Caso de estudo – Paul de Tornada	57
5.1	Caracterização da área de estudo	57

5.1.1	Localização e descrição geral	57
5.1.2	Biodiversidade	60
	Fauna	61
	Flora e Vegetação	64
5.1.3	Clima	67
5.1.4	Geologia e geomorfologia	68
5.1.5	Pedologia	70
5.1.6	Hidrologia e Hidrogeologia	71
5.2	Classificações e estatutos de protecção	75
5.3	Valores e serviços ambientais	78
5.4	Avaliação do potencial de depuração	80
5.4.1	Pressões e qualidade da água – evolução nos últimos anos	80
5.4.2	Apresentação de um caso de estudo relativo à importância das zonas húmidas no restabelecimento da qualidade da água	84
5.4.3	Resultados e discussão	87
5.5	Avaliação do contributo no controlo de cheias	88
5.5.1	Enquadramento	88
5.5.2	Resultados e Discussão	90
6	Medidas para melhorar o sistema em estudo	97
7	Conclusões e recomendações de trabalho futuro	99
7.1	Conclusões finais	99
7.2	Recomendações para desenvolvimentos futuros	100
	Referências Bibliográficas	101
	Anexos	109
	ANEXO I – Critérios para a Identificação de Zonas Húmidas de Importância Internacional, adoptados pela Convenção de Ramsar	111
	ANEXO II – Plano de amostragem	113

Índice de Figuras

Figura 3.1 - Localização relativa das zonas húmidas	9
Figura 3.2 - Pauis	12
Figura 3.3 - Zonamento típico da vegetação numa zona húmida.....	13
Figura 3.4 - Relações entre a dinâmica das zonas húmidas e os benefícios para a sociedade	16
Figura 3.5 - Serviços dos ecossistemas	17
Figura 3.6 - Controlo de inundações pelas zonas húmidas	26
Figura 3.7 - Componentes de um hidrograma	30
Figura 3.8 - Características do hidrograma-tipo.....	31
Figura 3.9 - Hidrograma de cheia para $t=t_c$	32
Figura 3.10 - Hidrograma de cheia para $t>t_c$	32
Figura 4.1 - Fases metodológicas	45
Figura 4.2 - Localização dos postos udográficos mais próximos do Paul de Tornada.....	46
Figura 4.3 – Curvas de possibilidade udométrica PDM para diferentes períodos de retorno	51
Figura 5.1 - Enquadramento geográfico do Paul de Tornada no território nacional.....	57
Figura 5.2 - Paul de Tornada	58
Figura 5.3 - Vista aérea do Paul de Tornada	58
Figura 5.4 - Ocupação do solo no Paul de Tornada e na área envolvente	59
Figura 5.5 - Centro Ecológico Educativo do Paul de Tornada (CEEPT)	60
Figura 5.6 - Guarda-rios (<i>Alcedo atthis</i>).....	61
Figura 5.7 - Relã (<i>Hyla arborea</i>).....	62
Figura 5.8 - <i>Lemna minor</i>	65
Figura 5.9 - Caniço (<i>Phragmites australis</i>).....	65
Figura 5.10 - Tábuã (<i>Typha</i> sp).....	66
Figura 5.11 - Unidades geomorfológicas do concelho das Caldas da Rainha	68
Figura 5.12 - Extracto da carta geológica da área da depressão diapírica	69
Figura 5.13 - Solos na região da RNL-PT	71
Figura 5.14 - Bacias hidrográficas no concelho das Caldas da Rainha	72
Figura 5.15 - Linhas de água pertencentes à sub-bacia do Paul de Tornada	73
Figura 5.16 - Representação esquemática das valas de drenagem do Paul de Tornada	74
Figura 5.17 - Localização e enquadramento litoestratigráfico	75
Figura 5.18 - Reserva Natural Local do Paul de Tornada	77
Figura 5.19 - Estado da massa de água referente à Valã da Palhagueira	83
Figura 5.20 - Localização do Paul de Arzila.....	84
Figura 5.21 - Localização das estações de amostragem na RNPA	86
Figura 5.22 - Balanço de compostos azotados (médias mensais)	87
Figura 5.23 - Balanço de fosfatos (médias mensais).....	87
Figura 5.24 - Zonas de risco de inundação nas bacias hidrográficas das ribeiras do Oeste	89

Figura 5.25 - Curvas de possibilidade udométrica PDM para diferentes períodos de retorno ..	90
Figura 5.26 - Curvas de possibilidade udométrica LNEC para diferentes períodos de retorno	91
Figura 5.27 - Curvas de possibilidade udométrica INAG para diferentes períodos de retorno .	91
Figura 5.28 – Hidrogramas de cheias PDM, LNEC e INAG para $t=t_c$ e $t=2t_c$	93
Figura II-1 - Fases do processo de monitorização da qualidade da água para o estudo da capacidade de depuração do Paul.....	113
Figura II-2 - Localização dos pontos de amostragem	115

Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Objectivos ambientais da DQA para as águas de superfície	7
Quadro 3.1 - Magnitude relativa (por unidade de área) dos serviços ecossistémicos derivados de diferentes tipos de de zonas húmidas interiores	21
Quadro 3.2 - Taxas de remoção pelas zonas húmidas	24
Quadro 3.3- Zonas húmidas portuguesas que integram a Lista de Sítios Ramsar	41
Quadro 4.1 - Características dos posto udográficos na envolvente da área em estudo	47
Quadro 4.2 - Intervalos de precipitação e valores do coeficiente de correcção para a bacia hidrográfica do Paul de Tornada	49
Quadro 4.3 - Altura de precipitação e duração da chuva para diferentes períodos de retorno..	50
Quadro 4.4 - Valores de a , n e equação das curvas de possibilidade udométrica para os diferentes períodos de retorno	50
Quadro 4.5 - Alturas de precipitação para os diferentes tempos de retorno (1-24horas)	51
Quadro 4.6 - Intensidade média da precipitação para os diferentes períodos de retorno (1-24horas)	52
Quadro 4.7 - Valores de a , b e equação das curvas de possibilidade udométrica para os diferentes períodos de retorno (LNEC)	52
Quadro 4.8 - Intensidade média da precipitação para os diferentes períodos de retorno (LNEC)	53
Quadro 4.9 - Valores de a , b e equação das curvas de possibilidade udométrica.....	53
Quadro 4.10 - Intensidade média da precipitação para os diferentes períodos de retorno (INAG)	54
Quadro 4.11 – Coeficientes da fórmula racional para diferentes períodos de retorno	55
Quadro 5.1 - Características fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do Paul de Tornada.....	73
Quadro 5.2 - Critérios para a designação do Paul de Tornada como Sítio Ramsar	76
Quadro 5.3 - Principais pressões identificadas na bacia do Rio de Tornada	82
Quadro 5.4 - Principais pressões identificadas na massa de água referente à vala da Palhagueira	83
Quadro 5.5 - Pressões totais na massa de água referente à vala da Palhagueira	83
Quadro 5.6 - Principais fontes de poluição	85
Quadro 5.7 - Tempos de concentração da sub-bacia do Paul de Tornada	90
Quadro 5.8 - Caudais de ponta de cheia da sub-bacia do Paul de Tornada ($t=t_c$)	92
Quadro 5.9 – Caudais de ponta de cheia para a sub-bacia do Paul de Tornada ($t=2t_c$)	92
Quadro 5.10 - Volume de escoamento da sub-bacia do Paul ($t=t_c$)	95
Quadro 5.11 - Volume de escoamento da sub-bacia do Paul ($t=2t_c$)	95
Quadro II-1 - Parâmetros a monitorizar	115

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

As zonas húmidas constituem um dos mais valiosos sistemas naturais (Alves, 2001). Além de santuários de biodiversidade e de desempenharem funções vitais, estes ecossistemas, proporcionam também um amplo conjunto de bens e serviços para a sociedade (Alves, 2001; Dodds e Whiles, 2010; Farinha *et al.*, 2003 e Pereira *et al.*, 2009). Estes bens e serviços suportaram o desenvolvimento e a sobrevivência das civilizações desde a antiguidade (European Commission, 2007; Farinha *et al.*, 2001 e Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

O reconhecimento do valor das zonas húmidas tem sido reafirmado em diversas Convenções internacionais, onde se destaca a Convenção de Ramsar (1971), e reflectido em várias Directivas Comunitárias Europeias (European Commission, 2007 e Mieiro, 2000).

Segundo Maltby e McInnes (1997), a importância destes ecossistemas baseia-se nos bens e funções/serviços que fornecem para o bem-estar da vida selvagem e conservação do património genético, para o uso directo e indirecto pelo ser humano e para a manutenção e qualidade do ambiente.

Alguns dos problemas que, actualmente afectam a sociedade, como a poluição dos recursos hídricos e a ocorrência de cheias, podem ser minimizados através das zonas húmidas. A expansão urbana induz, geralmente, uma maior impermeabilização do solo originando, conseqüentemente, um aumento da frequência e da magnitude das cheias, além da degradação da qualidade das águas escoadas.

Nas zonas húmidas, os sedimentos, juntamente com as plantas e os microrganismos que lhe estão associados, podem reter inúmeros nutrientes/poluentes e funcionar como um sistema depurador das águas que as atravessam, contribuindo assim para a manutenção e melhoria da qualidade da água. O reconhecimento das capacidades de depuração das zonas húmidas naturais levou ao desenvolvimento, no princípio do século XX, de zonas húmidas construídas para o tratamento de águas residuais (Mavioso, 2010).

Estes ecossistemas têm também capacidade de armazenamento e de laminação de caudais, retraindo a água após um período de precipitação intensa, e libertando-a de forma gradual durante a estação seca (Ramsar Convention, 2009). Deste modo, as zonas húmidas reduzem a altura de escoamento e o pico de cheia a jusante, diminuindo o seu potencial destrutivo (Alves *et al.*, 1998 e EPA 2006). O estudo do comportamento destes ecossistemas perante uma possível situação de cheia é determinante para efectuar um planeamento eficaz de

prevenção e protecção, facilitando a resposta em caso de desastre e minimizando os danos materiais e a perda de vidas humanas, assim como os custos económicos associados.

A melhoria da qualidade da água e o controlo de cheias são apenas uma ínfima porção do conjunto de serviços que as zonas húmidas podem proporcionar (Dodds e Whiles, 2010). Nesta perspectiva, surge a presente Dissertação, que tem a finalidade de identificar alguns dos serviços que o Paul de Tornada oferece, focalizando-se no estudo dos dois serviços referidos: a depuração de poluentes e a minimização de cheias.

A selecção desta zona húmida, como caso de estudo, surgiu pelo facto do Paul de Tornada apresentar elevada importância e potencialidade, nomeadamente no contexto regional, mas ser pouco conhecido a nível nacional e, consequentemente, não se encontrar tão amplamente estudado comparativamente a outras zonas húmidas do país.

Este trabalho deverá permitir, aprofundar conhecimentos sobre este sistema palustre e obter uma maior compreensão do comportamento do Paul, constituindo assim, um contributo para gestão da Reserva Natural Local do Paul de Tornada (RNL-PT).

1.2 Âmbito e Objectivos

A presente dissertação tem como principais objectivos avaliar a contribuição do Paul de Tornada relativamente à depuração das cargas de poluição afluentes, bem como no efeito minimizador de cheias na região. Tem ainda, como objectivo a identificação dos serviços ambientais que o paul pode prestar e propor algumas medidas que possam contribuir para melhorar o funcionamento do sistema em estudo.

Com o desenvolvimento deste trabalho, pretende-se demonstrar que, para além da importância conservacionista e do valor paisagístico, aspectos já evidenciados em diversos trabalhos, o Paul apresenta também valor científico proporcionando diversas funções/serviços ambientais fundamentais para o equilíbrio do ecossistema e para o bem-estar da população.

Por razões relacionadas com a crescente pressão urbanística, acentua-se a necessidade de compreender melhor a dinâmica e os serviços ambientais do Paul de Tornada procurando, por um lado, manter o equilíbrio do ecossistema e assegurar os serviços ambientais proporcionados e, por outro, potenciar o desempenho desses serviços para a população.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em sete capítulos. As referências bibliográficas e os anexos são apresentados no final do documento.

No **Capítulo 1** efectua-se o enquadramento do trabalho e a definição dos objectivos propostos. Faz-se ainda uma breve descrição de como o documento se encontra estruturado.

No **Capítulo 2** é efectuado um breve enquadramento relativamente às águas interiores superficiais e à sua degradação, assim como aos aspectos legais aplicáveis.

Ao longo do **Capítulo 3** procedeu-se a uma revisão da literatura sobre zonas húmidas, apresentando-se alguns conceitos e definições relevantes na abordagem desta temática

No **Capítulo 4** é apresentada a metodologia utilizada no estudo desenvolvido.

Ao longo do **Capítulo 5** é exposto o caso de estudo. Inicialmente efectua-se a caracterização da área, relativamente a aspectos de carácter geral, físico e natural. São identificados os valores e serviços ambientais prestados por esta zona húmida. Seguidamente, procede-se a uma breve caracterização do estado do Paul em relação à qualidade da água nos últimos anos e às principais fontes de poluição. São apresentados também os resultados sobre a depuração e procede-se à discussão dos mesmos. Neste capítulo, é ainda estudada a contribuição do Paul de Tornada no controlo de cheias, e são apresentados os resultados e a respectiva discussão.

No **Capítulo 6** são sugeridas algumas medidas que deverão contribuir para melhorar o desempenho desta zona húmida, como agente depurador e regulador das cheias.

No **Capítulo 7**, são apresentadas as conclusões do estudo realizado, efectuando-se também, algumas recomendações para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 ÁGUAS INTERIORES SUPERFICIAIS

2.1 Enquadramento

A água é um bem natural precioso e constitui, indubitavelmente, um elemento essencial à vida e ao suporte e manutenção dos ecossistemas (Convenção de Ramsar, 2009; Mendes e Oliveira, 2004 e Pereira *et al.*, 2009). Ao longo do tempo, a água esteve sempre associada ao desenvolvimento humano e aos mais diversos usos: consumo e abastecimento público, actividades agrícolas e industriais, produção de energia, turismo e lazer. No entanto, este desenvolvimento, aliado ao aumento da população mundial provocou a degradação da qualidade das massas de água (Mendes e Oliveira, 2004; Pereira, 2004 e Pereira *et al.*, 2009).

Actualmente, a poluição das águas interiores superficiais é um dos problemas que afectam a sociedade. Segundo Pereira *et al.* (2009), cerca de 40% dos recursos hídricos superficiais, em Portugal, apresenta um estado de qualidade da água mau ou muito mau. Os níveis de poluição são particularmente preocupantes e resultam, nomeadamente, do escoamento de fertilizantes provenientes da agricultura e resíduos domésticos e industriais originados nas áreas urbanas (Pereira *et al.* 2009).

A degradação da qualidade da água pode ter origem em causas naturais e/ou artificiais, sendo estas últimas originadas pela acção antropogénica (Mendes e Oliveira, 2004). As causas artificiais podem ser ainda subdivididas em acidentais ou não acidentais. No caso de episódios de poluição não acidentais, dependendo da forma como os poluentes são introduzidos no ambiente aquático, estabelece-se a distinção entre fontes pontuais, também designadas por tóxicas ou localizadas, e fontes difusas ou não localizadas (Mendes e Oliveira, 2004). A poluição gerada por fontes pontuais refere-se a pontos de descarga bem definidos e claramente identificáveis, ocorrendo deste modo a possibilidade destas fontes poderem ser circunscritas, tratadas ou controladas (Mendes e Oliveira, 2004 e Pereira, 2004). É, por exemplo, o caso das descargas de águas residuais domésticas e industriais (Mendes e Oliveira, 2004). A poluição difusa tem origem em actividades dispersas ou desenvolvidas em extensas áreas de ocupação do território, não sendo possível identificar e, por isso, mais difícil de controlar os seus pontos de emissão (INAG, 2002 e Mendes e Oliveira, 2004). É o caso da poluição provocada pela actividade agrícola e pelo escoamento de superfície gerado na rede rodoviária e nas zonas urbanas (INAG, 2002).

A avaliação dos recursos hídricos do ponto de vista qualitativo passa necessariamente pelo conhecimento das cargas poluentes que são geradas nas bacias hidrográficas. Essas cargas traduzem as pressões exercidas sobre as massas de água, resultantes das diferentes actividades socio económicas existentes no território (INAG, 2002). A par das condições naturais existentes nas bacias hidrográficas (por exemplo, ocupação do solo, natureza

geológica e litológica dos terrenos), estas pressões determinam o estado de qualidade das massas de água e do consequente impacte que esse estado pode causar, nomeadamente a nível da saúde pública e dos ecossistemas (INAG, 2002 e Mendes e Oliveira, 2004).

A contaminação das águas doces superficiais pode ser devida a diversas substâncias poluentes, entre as quais: nutrientes provenientes de fontes pontuais e difusas, metais pesados e outras substâncias perigosas, micropoluentes orgânicos, radioactividade e salinização (INAG, 2002).

As respostas mais eficazes para combater o problema da degradação das massas de água doce consistem nos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais, no uso racional de fertilizantes e pesticidas, na restauração de zonas húmidas, assim como na gestão integrada dos recursos hídricos (Pereira *et al.*, 2009).

2.2 Quadro legal aplicável às massas de água naturais superficiais

A importância dos recursos hídricos e as pressões a que estão expostos determinam a necessidade de definir e adoptar medidas que visem a sua protecção e que garantam a sua gestão sustentável (ARHTejo, 2011). Ao nível da União Europeia estes aspectos têm vindo a reflectir-se na publicação de legislação, de forma a assegurar, tanto nas gerações actuais como nas futuras, água em quantidade e qualidade suficiente para suprir as necessidades. Em Portugal, reflecte-se na transposição das directivas comunitárias para a legislação nacional (INAG, 2002).

No âmbito da gestão destes recursos, salienta-se a **Directiva n.º 2000/60/CE**, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, comumente denominada por Directiva Quadro da Água – DQA (APA, 2013 e MAOTDR, 2009). Esta directiva estabelece as bases e o quadro de acção comunitária no domínio da política da água, revelando-se como o principal instrumento de enquadramento para a protecção das águas interiores, superficiais e subterrâneas, das águas de transição e das águas costeiras (ARHTejo, 2011 e Directiva 2000/60/CE). Um dos seus objectivos é evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado das águas e dos ecossistemas associados, onde se incluem os ecossistemas terrestres e as zonas húmidas (Directiva 2000/60/CE).

A DQA estipula objectivos ambientais para as águas de superfície, entre os quais, alcançar o bom estado químico e ecológico (classificação nos termos do anexo V da DQA.) até 2015, através da aplicação dos programas de medidas especificados nos planos de gestão das regiões hidrográficas (APA, 2013 e Directiva 2000/60/CE). Esses mesmos objectivos encontram aplicação para as zonas protegidas, excepto nos casos em que a legislação comunitária, ao abrigo da qual tenha sido criada a zona protegida, preveja outras condições. A referência a “zonas protegidas” inclui os sítios que são abrangidos pela Rede Natura 2000, ou

seja, encontra também aplicação directa nos sítios Ramsar, com excepção do Paul da Tornada e do Estuário do Mondego, que não estão integrados na Rede Natura (Silva, 2012). No Quadro 2.1, constam resumidamente os objectivos ambientais da Directiva Quadro da Água para as águas de superfície.

Quadro 2.1 - Objectivos ambientais da DQA para as águas de superfície

Objectivos ambientais da Directiva Quadro da Água	
Águas de Superfície	Evitar a deterioração do estado das massas de água.
	Proteger, melhorar e recuperar todas as massas de água com o objectivo de alcançar um bom estado das águas (bom estado químico e o bom estado ecológico) até 2015.
	Proteger e melhorar todas as massas de água fortemente modificadas e artificiais com o objectivo de alcançar um bom potencial ecológico e o bom estado químico até 2015.
	Reduzir gradualmente a poluição provocada por substâncias prioritárias e eliminar as emissões, as descargas e as perdas de substâncias perigosas prioritárias.

A DQA introduz assim uma nova abordagem na avaliação da qualidade das águas interiores, em que o conceito de “estado ecológico” passa a assumir um papel essencial na determinação do estado das massas de água e nos objectivos ambientais estabelecidos (Pereira *et al.*, 2009). O estado ecológico é definido como “*a expressão da qualidade estrutural e funcional dos ecossistemas aquáticos*” (Directiva 2000/60/CE).

Esta Directiva foi transposta para o direito nacional através da **Lei n.º 58/2005**, de 29 de Dezembro, vulgarmente designada por Lei da Água e pelo **Decreto-Lei n.º 77/2006**, de 30 de Março (Silva, 2012). A Lei da Água, além de integrar os conteúdos da Directiva Comunitária, procede à reforma do quadro legal e institucional relativo aos recursos hídricos, vigente em Portugal desde à longa data, implementando novas bases para a gestão sustentável das águas a nível nacional (ARHTejo, 2011 e Pereira *et al.*, 2009). Esse modelo de gestão baseia-se em institutos públicos de âmbito regional, designados por Administrações de Região Hidrográficas² (ARH), que englobam uma ou mais Regiões Hidrográficas. Estes institutos têm atribuições de protecção e valorização das componentes ambientais das águas na respectiva área de jurisdição e, como tal, têm também um contributo fundamental relativamente à conservação da natureza e da biodiversidade (Pereira *et al.*, 2009). A unidade territorial de gestão da água é Região Hidrográfica, que pode ser constituída por uma ou mais bacias hidrográficas (APA,

² Existem 5 ARH em Portugal: Norte, Centro, Tejo, Alentejo e Algarve.

2013).

Neste novo sistema de planeamento e de gestão da água, destacam-se os Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica (PGBH), integrados num Plano de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) e que devem fazer face aos objectivos ambientais que foram traçados na DQA (ARHTejo, 2011 e Pereira *et al.*, 2009). Os PGRH são instrumentos de planeamento dos recursos hídricos que visam a gestão, a protecção e a valorização ambiental, social e económica das águas ao nível das bacias hidrográficas integradas numa região hidrográfica (APA, 2013). Esta abordagem garante que a água é gerida com base na bacia hidrográfica em detrimento de fronteiras administrativas ou políticas (European Commission, 2007).

Refere-se ainda alguma legislação que complementa a Lei da Água, nomeadamente a **Lei n.º 54/2005**, de 15 de Novembro, também designada por Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos, o **Decreto-Lei n.º 226-A/2007**, de 31 de Maio, que regulamenta o regime da utilização dos recursos hídricos e o **Decreto-Lei n.º 97/2008**, de 11 de Junho, que estabelece o regime económico e financeiro dos recursos hídricos (ARHTejo, 2011 e Pereira *et al.*, 2009).

Em Portugal, além dos PGRH existem outros dois instrumentos para o planeamento dos recursos hídricos: Plano Nacional da Água (PNA) e os Planos Específicos de Gestão de Águas. O PNA – **Decreto-Lei n.º 45/94**, de 22 de Fevereiro – define orientações de âmbito nacional para a gestão integrada das águas. Relativamente aos Planos Específicos de Gestão de Águas, estes são complementares dos PGBH, e constituem planos de gestão mais pormenorizada a nível de sub-bacia, sector, problema, tipo de água ou sistemas aquíferos (APA, 2013).

Outra legislação europeia relevante para a protecção das águas, é a **Directiva 91/676/CEE** de 12 de Dezembro de 1991, reconhecida como Directiva Nitratos (European Commission, 2007). Esta directiva tem como objectivo reduzir a poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola, bem como impedir a propagação dessa poluição e promover a adopção de boas práticas agrícolas. Foi transposta para a legislação portuguesa, pelo **Decreto-Lei n.º 235/97**, de 3 de Setembro, alterado pelo **Decreto-Lei n.º 68/99**, de 11 de Março.

Destaca-se ainda, a **Directiva 91/271/CEE**, de 21 de Maio, relativa às águas residuais urbanas e industriais, e o **Decreto-Lei n.º 236/98**, de 1 de Agosto, o qual estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

Os vários instrumentos legais, nomeadamente o quadro legal e institucional proporcionado pela Lei da Água, permitem usufruir dos benefícios dos recursos hídricos e dos ecossistemas associados, mantendo íntegros os processos e funções ecológicas que os caracterizam (Pereira *et al.*, 2009).

3 ZONAS HÚMIDAS

3.1 Enquadramento

As zonas húmidas são áreas de transição entre os ecossistemas terrestres e os sistemas aquáticos, apresentando características de cada um destes ambientes (Figura 3.1). Esta situação de transição entre o meio aquático e o meio terrestre confere-lhes características únicas (Farinha *et al.*, 2003; Michaud, 2001 e Mitsch e Gosselink, 2007). Não são consideradas verdadeiramente ambientes aquáticos porque têm solo, nem verdadeiramente terrestres porque, ou se encontram cobertas de água ou o seu solo está saturado (Keddy, 2010). Essa condição de alagamento ou saturação do solo, característica deste tipo de ecossistema, promove assim, condições para a instalação de vegetação totalmente distinta das áreas contíguas (Dias *et al.*, 2000; European Commission, 2007 e Oliveira, 2007).

Estes ecossistemas oferecem habitat para inúmeras espécies quer de fauna, quer de flora e constituem polos de diversidade biológica, fornecendo água, alimento e refúgio (Ramsar Convention Secretariat, 2013). São caracterizados, na sua maioria, por uma elevada produtividade, que serve de base às diversas comunidades que albergam (EPA, 2001; Mitsch e Gosselink, 2007 e Pereira *et al.*, 2009).

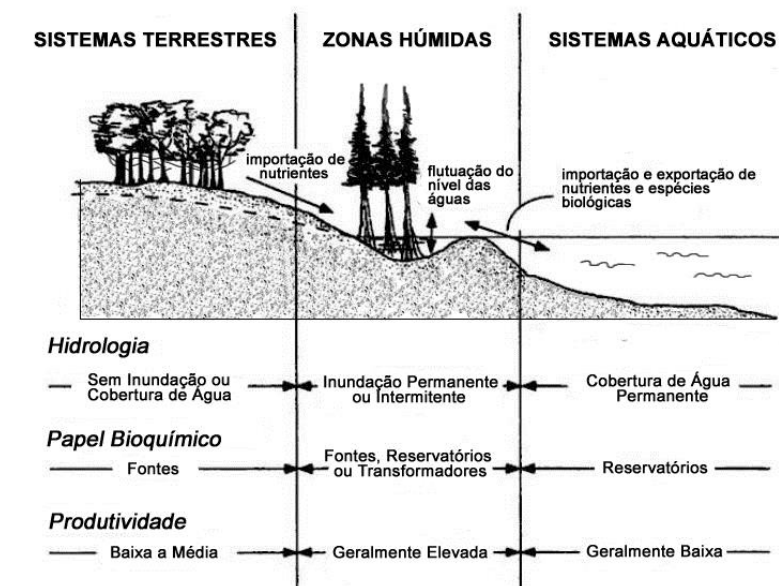


Figura 3.1 - Localização relativa das zonas húmidas

Fonte: Lewis, 1995 (adaptado); tradução livre

As zonas húmidas ocorrem em todos os continentes, com excepção da Antárctida, e em todos os climas, desde a tundra aos trópicos. No entanto, a maioria destes ecossistemas encontra-se

localizada no hemisfério norte, nomeadamente nas regiões boreais e tropicais (EPA, 2013; Mieiro, 2000; Oliveira, 2007 e Ramsar Convention Secretariat, 2013). Segundo Mitsch e Gosselink (2007), as zonas húmidas ocupam entre 7 e 10 milhões de km² a nível mundial, o que corresponde a cerca de 5 a 8 por cento da superfície terrestre.

São inúmeras as definições de zona húmida, cada uma, reflexo de uma abordagem diferente, consoante o ramo de investigação em causa e os diferentes propósitos (Dodds e Whiles, 2010; Hammer e Bastian, 1989 e Mitsch e Gosselink, 2007). Traço comum entre todas as definições é o carácter de transição entre o meio terrestre e aquático e a alternância entre a presença e a ausência de uma camada de água ou a variação da sua altura (Alves, 2001 e Farinha *et al.*, 2003).

Por outro lado, a grande diversidade deste tipo de ecossistemas e o seu carácter dinâmico dificulta a existência de uma definição precisa e absoluta de *zona húmida*, assim como dos limites ecológicos e hidrológicos associados ou característicos (Dodds e Whiles, 2010; European Commission, 2007; Farinha *et al.*, 2001 e Mitsch e Gosselink, 2007).

À partida estes aspectos podem não ser considerados relevantes. No entanto, a definição e a delimitação destes ecossistemas são aspectos que apresentam grande importância tanto para o estudo destes sistemas como para questões associadas à sua gestão (Dodds e Whiles, 2010; Dordio *et al.*, s.d.; Mitsch e Gosselink, 2007 e Smardon, 2011).

Entre a gama de definições, a mais universalmente aceite nos círculos internacionais é a que figura no texto da Convenção sobre Zonas Húmidas (1971), sendo considerada uma definição extremamente ampla e abrangente (European Commission, 2007; Farinha *et al.*, 2003; Mitsch e Gosselink, 2007 e Ramsar Convention Secretariat, 2013). De acordo com os artigos 1.1 e 2.1 da Convenção de Ramsar, zonas húmidas são:

“Áreas de sapal, paul, turfeira ou água, sejam naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo águas marinhas cuja profundidade na maré baixa não exceda os seis metros”, e “podem incluir zonas ribeirinhas ou costeiras a elas adjacentes, assim como ilhéus ou massas de água marinha com uma profundidade superior a seis metros em maré baixa, integradas dentro dos limites da zona húmida”.

(Artigo 1.1 e 2.1 in Convenção Ramsar)

As zonas húmidas apresentam formas e tipologias muito diversas, podendo ser amplamente agrupadas, em três grandes categorias (European Commission, 2007; Farinha *et al.*, 2001; MAOTDR, 2009; Millennium Ecosystem Assessment, 2005 e Ramsar Convention Secretariat, 2013):

- *Marinhas ou Costeiras*: são zonas húmidas de água salgada ou salobra. Incluem

estuários, sapais, lagoas costeiras, pântanos marinhos, mangais, falésias rochosas, entre outros;

- *Interiores ou Continentais*: são zonas húmidas de água doce. Incluem lagos, rios, ribeiros, pauis, pântanos, turfeiras;
- *Artificiais ou Construídas*: são zonas húmidas criadas pelo ser humano. As salinas, arrozais, albufeiras, canais e tanques de aquacultura são alguns exemplos.

Ao longo dos anos, vários sistemas de classificação foram desenvolvidos, para identificar a enorme diversidade de tipos de zonas. Esses sistemas são baseados em várias características, como localização, geomorfologia, hidrologia, concentração de nutrientes, vegetação dominante, entre outros. Contudo, não existe um sistema de classificação universal (Dobson e Frid, 2009 e Dodds e Whiles, 2010).

Um problema que se coloca é a falta de padronização dos termos, mesmo entre a comunidade científica, utilizando-se terminologias com significados distintos em diferentes partes do mundo e/ou circunscritas geograficamente a determinados locais (Dobson e Frid, 2009; Hammer e Bastin, 1989 e Maltby e McInnes, 1997). Por exemplo, para alguns autores, pântanos são zonas húmidas em que o nível freático está, normalmente, acima do nível do solo enquanto, pauis são zonas húmidas em que normalmente o nível freático está na superfície do solo, ou logo abaixo da superfície (Dobson e Frid, 2009). Por outro lado, nos Estados Unidos, pauis e pântanos são geralmente definidos pela vegetação dominante; os pauis são dominados por vegetação herbácea emergente enquanto os pântanos são por vegetação lenhosa. No entanto, na Europa e em África, as zonas húmidas dominadas por vegetação herbácea são designadas frequentemente por pântanos (Dodds e Whiles, 2010 e Mitsch e Gosselink, 2007).

A dificuldade destas classificações reflecte a complexidade dos tipos de zonas húmidas em todo o mundo (Dobson e Frid, 2009). Grande parte da literatura refere uma classificação das zonas húmidas em 5 grandes grupos principais, com base na sua localização e tipo de ambiente aquático: Marinha, Estuarina, Palustre, Fluvial e Lacustre (European Commission, 2007; Silva *et al.*, 2012 e Ramsar Convention Secretariat, 2013).

3.2 Pauis

Os pauis são zonas húmidas, sazonalmente ou permanentemente inundadas, que se situam em terrenos baixos alagadiços, nas proximidades de charcos e lagos ou ao longo das margens de rios (Figura 3.2). Em geral, apresentam baixa profundidade, o que favorece o desenvolvimento de vegetação aquática e constituem habitat para comunidades biológicas muito ricas e diversas, nomeadamente a nível da avifauna (Catry *et al.*, 2010 e EPA, 2013).



Figura 3.2 - Pauis

Fonte: Google imagens, 2013

Na maioria dos casos, originam-se da meandrização de cursos de água, em troços que correm em planície e que, por separação do leito principal, acabam por ficar sem comunicação directa ou apenas fechados numa das extremidades. Podem, também ocorrer em secções de margens baixas, com depressões marginais, que são periodicamente alagadas, quando as águas extravazam do leito normal ou em períodos de elevada pluviosidade (Alves *et al.*, 1998).

Este tipo de zona húmida apresenta comunidades vegetais similares às existentes em outros ecossistemas de água doce – como os caniços, bunhos, tábuas, juncos e salgueiros – sendo caracterizado por vegetação herbácea emergente adaptada a condições de solo saturadas (Alves *et al.*, 1998; Catry *et al.*, 2010; EPA, 2013; Hammer e Bastian, 1989; Mitsch e Gosselink, 2007 e Smardon, 2011). Além da vegetação emergente, normalmente, existe em abundância vegetação submersa e flutuante (Hammer e Bastian, 1989). Os pauis com caniçais, especialmente quando possuem vegetação arbórea dispersa, constituem, de entre os vários tipos de zonas húmidas, aquelas que suportam uma fauna mais rica e diversa (Simões, 2007). Devido à grande densidade de plantas que usualmente ocorre nestes meios, as suas águas apresentam característico mesotróficas a eutróficas (Alves *et al.*, 1998).

3.3 Estrutura e funcionamento das zonas húmidas

As zonas húmidas, embora apresentem uma tipologia muito diversificada, partilham entre si características específicas, tanto a nível estrutural como funcional (Lewis, 1995). Relativamente à estrutura, estes ecossistemas têm três componentes principais:

- *Água* – nas zonas húmidas, a água está ao nível ou perto da superfície do solo, sendo que a condição de alagamento ou saturação pode ser permanente ou ocorrer apenas durante parte do ano. Numa determinada zona húmida, os níveis de água podem variar de estação para estação e de ano para ano (Boavida, 1999; Dias *et al.*, 2000; Maltby e McInnes, 1997; Mitsch e Gosselink, 2007 e Smardon, 2011).
- *Substrato* – solos inundados ou saturados, e carentes em oxigénio, geralmente designados por solos hídricos (Boavida, 1999; Dias *et al.*, 2000; Dodds e Whiles, 2010

Farinha *et al.*, 2003 e Smardon, 2011).

- *Biota* – nomeadamente a flora e a comunidade bacteriana estão adaptadas a condições de saturação hídrica. Também as espécies de fauna se encontram adaptadas a estas condições durante, pelo menos, parte do seu ciclo de vida (Boavida, 1999; Dias *et al.*, 2000; Hammer e Bastian, 1989; Maltby e McInnes, 1997 e Smardon, 2011).

Todos estes componentes são fundamentais para o funcionamento e equilíbrio dinâmico das zonas húmidas, apresentando interações complexas, ainda não totalmente compreendidas, em que a água constitui o elemento estruturante (Dodds e Whiles, 2010; Dordio *et al.*, s.d. e Farinha *et al.*, 2001). De facto, o regime hídrico desempenha um papel essencial na determinação e manutenção das características, estrutura e funcionamento destes sistemas (Alves, 2001; MAOTDR, 2009; Millennium Ecosystem Assessment, 2005 e Smardon, 2011).

O solo é igualmente um componente muito importante, uma vez que, as suas características físicas e químicas têm grande influência no tipo de plantas e populações microbianas presentes. Além disso, as características do solo também determinam os processos físico-químicos que ocorrem no meio aquoso, que podem ser responsáveis pela remoção de certos tipos de poluentes, com grande impacto na qualidade da água (Dordio *et al.*, s.d.).

A elevada interação água/solo e as oscilações sazonais do nível da água, determinam áreas com diferentes períodos de submersão, resultando em variações na abundância e na diversidade de espécies da flora e fauna, e num zonamento da vegetação relativamente à linha de água (Figura 3.3) (Farinha *et al.*, 2003; Fernandes e Cruz, 2011 e Hammer e Bastian, 1989). Na zona com cotas mais elevadas, coberta pela água apenas nos períodos de cheias, ocorrem as matas ribeirinhas e, nas cotas inferiores, à medida que o substrato firme vai ficando permanentemente coberto pelas águas e a profundidade cada vez maior, encontra-se um tipo de vegetação designada por macrófita (Dias *et al.*, 2000 e Fernandes e Cruz, 2011).

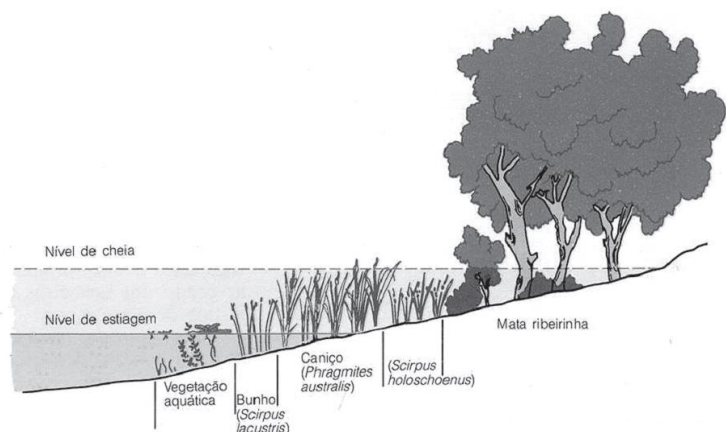


Figura 3.3 - Zonamento típico da vegetação numa zona húmida

Fonte: Fernandes e Cruz, 2011.

Nas cotas inferiores à mata ribeirinha surgem comunidades de macrófitas emergentes, encontrando-se uma primeira cintura de vegetação constituída na sua maioria por *Scirpus holoschoenus*. Seguidamente surgem caniçais, dominados essencialmente por *Phragmites australis*, ocorrendo também tábuas (*Typha* spp) e *Sparganium erectum* (Fernandes e Cruz, 2011). Os caniçais são um importante habitat para numerosos seres vivos, uma vez que o ambiente no seu interior é quente e húmido, o que favorece o aparecimento de invertebrados, nomeadamente insectos. Além de local de alimentação, constituem também local de nidificação para diversas aves, sobretudo espécies migradoras, o que lhes confere elevada importância ornitológica (Farinha *et al.*, 2001; MedWet, 2005). Nas cotas mais baixas o bunho (*Scirpus lacustris*) é a espécie predominante (Fernandes e Cruz, 2011).

Encontram-se também macrófitas flutuantes, como *Lemna gibba*, *Lemna minore* e *Eichhornia crassipes* e macrófitas submersas como *Elodea*, *Myriophyllum* e *Ceratophyllum* (Dias *et al.*, 2000 e Fernandes e Cruz, 2011). Esta sequência de agrupamentos vegetais embora frequente em Portugal, encontra-se longe de ser exclusiva (Fernandes e Cruz, 2011).

As comunidades vegetais das zonas húmidas são um elemento de importância primordial (Alves, 2001). Além de produtores primários, têm a capacidade de reter sedimentos, depurar a água, mediar as cheias, e estabilizar as margens (Alves, 2001 e EPA, 1996). A vegetação proporciona também habitat, local de abrigo e de nidificação assim como, constitui suporte alimentar para um enorme conjunto de espécies da fauna terrestre e aquática (Alves, 2001; Catry *et al.*, 2010; EPA, 1996; European Commission, 2007; Michaud, 2001 e Ramsar Convention Secretariat, 2013).

As zonas húmidas constituem verdadeiros santuários de vida selvagem (Farinha *et al.*, 2001), sendo, muitas vezes, referidas como "supermercados biológicos" devido à abundância de biodiversidade que albergam e às teias alimentares complexas que suportam (EPA, 2013 e Mitsch e Gosselink, 2007). Para além das espécies características destes meios, é nas zonas húmidas que a grande maioria da fauna terrestre, encontra disponível água, um dos elementos vitais para a sua sobrevivência (Alves, 2001).

Estas zonas são ainda ricas em microrganismos que transformam e degradam grande variedade de substâncias (Mendes, 2010). A comunidade microbiana é, normalmente, composta por espécies aeróbias na superfície do substrato, que colonizam áreas em torno das raízes das plantas. Com o aumento da profundidade surgem espécies anaeróbicas, que desempenham um importante papel nas reacções químicas que produzem metano, azoto e sulfureto de hidrogénio (EPA, 1996).

A nível funcional, como já foi anteriormente referido, estes ecossistemas têm também semelhanças, nomeadamente em termos de produtividade, de balanço hídrico e de ciclo de nutrientes. De um modo geral, as zonas húmidas apresentam elevada produtividade primária (Dodds e Whiles, 2010; EPA, 2001; Mitsch e Gosselink, 2007; Ramsar Convention Secretariat,

2013 e Smardon, 2011), chegando a atingir níveis superiores aos de campos agrícolas férteis, altamente artificializados (Farinha e Trindade, 1994; Farinha *et al.*, 2003 e Hammer e Bastian, 1989). No entanto, nem todos estes ecossistemas apresentam elevada produtividade, como é o caso das turfeiras.

3.4 Valores, funções e serviços ambientais das zonas húmidas

Durante séculos, as zonas húmidas foram consideradas áreas sem valor, impróprias para a agricultura e fonte de maus cheiros, humidade, insectos e doenças (Boavida, 1999 e Smardon, 2011). Por isso, grande parte destas zonas foi drenada e convertida para uso agrícola, industrial ou urbano (Abreu *et al.*, 1999 e Dordio *et al.*, s.d.). Esta conversão originou modificações da estrutura e funções dos ecossistemas (Mieiro, 2000).

Mais tarde, as zonas húmidas começaram a ser encaradas como locais de habitat para a vida selvagem, nomeadamente para aves aquáticas (Boavida, 1999). O estudo destas áreas começou a registar um interesse crescente por parte da comunidade científica, o que originou um maior conhecimento sobre estes ecossistemas e alertou para a importância da sua preservação (Boavida, 1999; Farinha e Trindade, 1994 e Michaud, 2001).

De facto, as zonas húmidas constituem valiosos sistemas naturais, quer quando consideradas como reservas de biodiversidade, quer quando observadas sob a perspectiva das funções vitais que desempenham (Alves, 2001). Essas funções ocorrem naturalmente, e são resultantes das interações entre a estrutura (factores bióticos e abióticos) e os processos naturais do ecossistema, podendo ser divididas amplamente em funções hidrológicas, biogeoquímicas e ecológicas (Barbier *et al.*, 1997; EPA, 2013; Maltby e McInnes, 1997 e Ramsar Convention, s.d.). As funções, por sua vez, geram uma diversidade de serviços ambientais que se traduzem em benefícios e valor para a sociedade (Andrade e Romeiro, 2009; Maltby e McInnes, 1997 e Smardon, 2011). Estes serviços ambientais são essenciais quer para a sobrevivência, quer para o bem-estar da espécie humana e são resultado das características naturais inerentes e únicas das zonas húmidas (Dordio *et al.*, s.d.; EPA, 2001; European Commission, 2007; Farinha e Trindade, 1994 e Millennium Ecosystem Assessment, 2005). De um modo geral, uma função passa a ser considerada serviço ambiental quando é incorporada a noção de utilidade antropocêntrica, ou seja, quando apresenta valor para a sociedade (Andrade e Romeiro, 2009 e Pereira *et al.*, 2009).

As funções e serviços do ecossistema nem sempre apresentam uma relação biunívoca, sendo que um único serviço ambiental pode ser o resultado de duas ou mais funções, ou uma única função pode gerar mais que um serviço ambiental (Andrade e Romeiro, 2009).

O próprio ecossistema possui atributos, ou seja, valores que são encarados pela sociedade

como benéficos, que incluem a diversidade biológica e o património cultural (Barbier *et al.*, 1997; Maltby e McInnes, 1997; Mendes, 2010 e Ramsar Convention Secretariat, 2013).

A Figura 3.4 apresenta um diagrama conceptual das relações entre as funções, processos, estrutura, atributos, valores, bens e serviços das zonas húmidas. Acima da linha a tracejado, o ecossistema actua de forma independente da percepção de valor da sociedade. Abaixo da linha, a sociedade reconhece que as zonas húmidas possuem valor, ou produzem bens e serviços que têm valor (Maltby e McInnes, 1997).

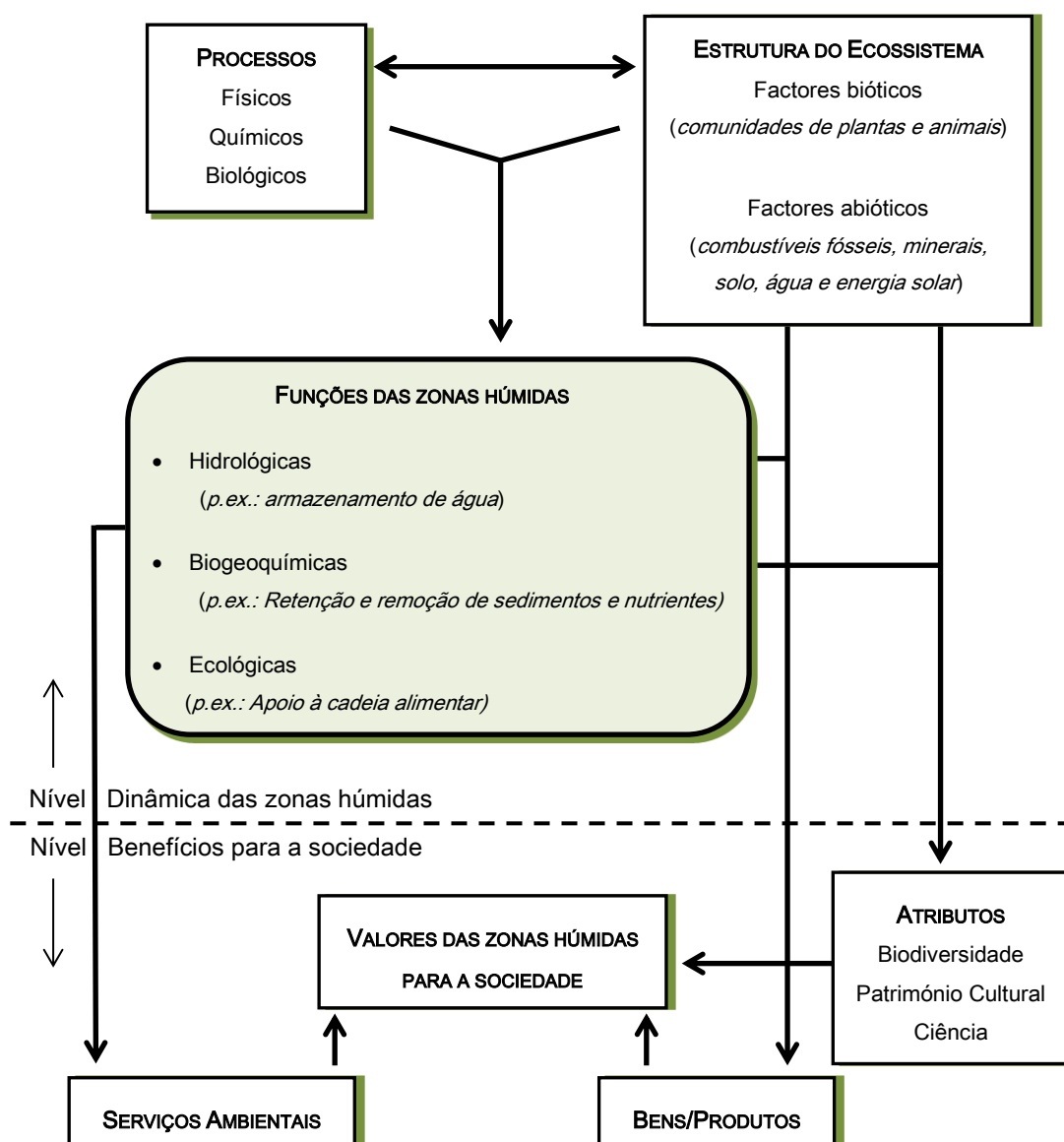


Figura 3.4 - Relações entre a dinâmica das zonas húmidas e os benefícios para a sociedade

Fonte: Maltby e McInnes, 1997 (adaptado)

Os serviços ambientais são definidos, segundo o *Millennium Ecosystem Assessment*, como os benefícios directos e indirectos que o ser humano recebe dos ecossistemas. Estes benefícios podem ser bens, como alimentos ou água (*serviços de produção*), funções, como o sequestro de carbono (*serviços de regulação*) ou ainda outros benefícios, como a oportunidade de recreio e o valor cultural da paisagem (*serviços culturais*). Na base de todos estes serviços ambientais, que afectam directamente a sociedade, estão os designados *serviços de suporte*, necessários para assegurar e manter todos os restantes serviços dos ecossistemas (Andrade e Romeiro, 2009; DL n.º. 142/2008 e Pereira *et al.*, 2009). A biodiversidade, conceito estritamente relacionado com os ecossistemas, desempenha um papel fundamental ao nível das funções ecossistémicas. Desta forma, alterações a nível da biodiversidade podem influenciar a prestação de serviços ambientais pelos ecossistemas (Figura 3.5) (Pereira *et al.*, 2009).



Figura 3.5 - Serviços dos ecossistemas

Fonte: Millennium Ecosystem Assessment, s.d. (adaptado)

Os ***serviços de suporte***, também designados por *serviços de habitats ou de apoio*, são os alicerces de todos os outros serviços ecossistémicos, como referido, e incluem por exemplo, a produção de oxigénio, a produtividade primária, os ciclos de nutrientes e a formação do solo,

entre outros (Comissão Europeia, 2009; DL n.º 142/2008 e Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Relativamente aos **serviços de produção**, estes são os recursos ou bens/produtos que a sociedade obtém dos ecossistemas, e que podem ser provenientes dos factores bióticos ou abióticos (Andrade e Romeiro, 2009; DL n.º 142/2008 e Pereira *et al.*, 2009).

As zonas húmidas fornecem água e diversos produtos, muitos deles na forma de alimento, como por exemplo, peixe, carne, moluscos, frutos e legumes (Comissão Europeia, 2009 e Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Destes ecossistemas também se obtém um importante cereal, o arroz, que constitui a base da alimentação de grande parte da população mundial (Comissão Europeia, 2009; Dodds e Whiles, 2010; Millennium Ecosystem Assessment, 2005 e Ramsar Convention Secretariat, 2013). Várias zonas húmidas costeiras, sobretudo no Mediterrâneo, têm sido aproveitadas para a produção de sal (Farinha e Trindade, 1994). A pesca em águas de zonas húmidas interiores apresenta particular importância nos países em desenvolvimento sendo, por vezes, a principal fonte de proteína animal a que certas comunidades rurais têm acesso (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Outro aspecto a salientar, é o facto de dois terços do peixe que é consumido na alimentação depender de zonas húmidas em algum estágio do seu ciclo de vida (Barbier *et al.*, 1997).

Estes ecossistemas fornecem, também, uma grande diversidade de matérias-primas, como madeira, fibras, combustível, tintas naturais, ceras, colas, óleos vegetais assim como, recursos medicinais e ornamentais (conchas, flores, bambu) (Andrade e Romeiro, 2009; Barbier *et al.*, 1997 e Pereira *et al.*, 2009).

Os **serviços de regulação** são os benefícios que a sociedade obtém da capacidade dos ecossistemas regularem processos ecológicos essenciais de suporte à vida, através de ciclos biogeoquímicos e outros processos da biosfera (Andrade e Romeiro, 2009; DL n.º 142/2008 e Pereira *et al.*, 2009). Estes serviços regulam, por exemplo, o clima e a água (Comissão Europeia, 2009 e Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

As zonas húmidas regulam o caudal natural dos cursos de água e desta forma, contribuem para a manutenção dos níveis freáticos, o controlo de cheias, a retenção de sedimentos e nutrientes e a da água (EPA, 2001; Farinha *et al.*, 2003 e Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Durante a estação húmida, retêm a água da precipitação concedendo tempo para que a infiltração ocorra. Nos períodos secos, libertam-na de modo gradual, contribuindo para regularizar os caudais de águas superficiais e subterrâneas (EPA, 2001; Hammer e Bastian, 1989; Michaud, 2001 e Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Estes ecossistemas tendem a retardar o escoamento superficial de água e reduzir a capacidade de transporte de material sólido, criando condições para a deposição de sedimentos ricos em matéria orgânica e nutrientes (MAOTDR, 2009). Os nutrientes, principalmente azoto e fósforo, provenientes da agricultura ou de descargas de efluentes urbanos e industriais, podem acumular-se no subsolo,

transformar-se através de processos químicos e biológicos ou serem utilizados pela vegetação. Esta capacidade de retenção de nutrientes confere às zonas húmidas elevada produtividade (Farinha *et al.*, 2001).

Estes ecossistemas têm também bastante importância na regulação climática uma vez que funcionam como acumuladores térmicos, amenizando o clima a nível local e regional, ao diminuir as amplitudes térmicas e aumentando a humidade do ar das zonas envolventes (Alves, 2001 e Millennium Ecosystem Assessment, 2005). As árvores e plantas existentes nestes locais desempenham um importante papel na manutenção da qualidade do ar.

Algumas catástrofes naturais, permitem retirar lições e despertam para a importância destes sistemas como de *buffers* de tempestades (Ramsar Convention, 2009). De facto, as zonas húmidas costeiras são essenciais na defesa e estabilização da linha de costa, funcionando como barreira natural de protecção contra os efeitos de fenómenos climáticos – furacões, tornados, tempestades. Ajudam a minimizar o impacto desses fenómenos, reduzindo a acção do vento, das ondas e das correntes (Farinha *et al.*, 2001). A vegetação costeira não só dissipa a energia da água mas também proporciona a estabilidade dos solos, retendo os sedimentos com seus sistemas radiculares extensos e mitigando a erosão pelo vento e ondas (Michaud, 2001).

Por fim, os **serviços culturais** são todos os benefícios não materiais que o ser humano obtém dos ecossistemas através do enriquecimento espiritual, do desenvolvimento cognitivo, da reflexão, do recreio e de experiências estéticas (Andrade e Romeiro, 2009; Comissão Europeia, 2009; DL n.º 142/2008 e Pereira *et al.*, 2009). Estes serviços estão intimamente ligados a valores e comportamentos humanos, características que fazem com que a percepção dos mesmos seja subjectiva de indivíduo para indivíduo (Andrade e Romeiro, 2009).

A beleza natural e a grande biodiversidade das zonas húmidas torna-as locais bastante procurados para o desenvolvimento de actividades recreativas incluindo caminhadas, canoagem, observação de aves, fotografia, pintura e escrita (Barbier *et al.*, 1997; Farinha *et al.*, 2001; European Commission, 2007 e MAOTDR, 2009). Por outro lado, o seu valor recreativo está estreitamente relacionado com aspectos educacionais, uma vez que estas zonas proporcionam condições ideais para o envolvimento do público em geral, nomeadamente de crianças, em visitas guiadas, actividades pedagógicas e de educação ambiental (MAOTDR, 2009). Constituem também fonte de interesse para diversas pesquisas e estudos de investigação científica (Barbier *et al.*, 1997 e Mendes, 2010). Em muitos Sítios Ramsar as actividades recreativas são cuidadosamente "zoneadas", estando limitadas apenas a determinadas áreas específicas de modo a evitar, por exemplo, perturbações à vida selvagem (European Commission, 2007 e Ramsar Convention Secretariat, 2013).

As zonas húmidas potenciam o desenvolvimento económico e turístico da região, gerando receitas indirectas consideráveis para as populações locais (Andrade e Romeiro, 2009;

MAOTDR, 2009). Contudo, nem todo o tipo de turismo é necessariamente compatível com a gestão e utilização sustentável destes ecossistemas, devendo para isso ser promovida a prática de turismo responsável, tal como preconizado na Convenção de Ramsar (Ramsar Convention Secretariat, 2013). O turismo pode também ter um papel fundamental na conservação das zonas húmidas, na medida em que pode sensibilizar as pessoas sobre a diversidade biológica e outros aspectos relacionados com estes ecossistemas.

Algumas zonas húmidas estão associadas a crenças religiosas e valores espirituais chegando, em certos casos, a ser consideradas locais sagrados (Ramsar Convention Secretariat, 2013). Muitas vezes estão, também, associadas a um importante património histórico e cultural através de tradições e costumes locais, aspectos importantes para criar um sentimento de pertença e o envolvimento das populações na sua conservação (Farinha *et al.*, 2001). Constituem igualmente uma fonte de evidências arqueológicas de valor inestimável (Ramsar Convention Secretariat, 2013), desempenhando muitas vezes um importante papel na preservação de vestígios de antigos povos (Barbier *et al.*, 1997).

No entanto, nem todas as zonas húmidas proporcionam a totalidade destes serviços, nem todas apresentam o mesmo desempenho (Barbier *et al.*, 1997; Mendes, 2010; Maltby e McInnes, 1997 e Oliveira, 2007). A diferença de desempenho das funções depende, entre outros factores, do tamanho, da localização, da tipologia e do estado de degradação do ecossistema em causa (Ramsar Convention, 2009). É importante, por isso, avaliar quais os serviços que determinada zona húmida proporciona (Barbier *et al.*, 1997).

O Quadro 3.1 sintetiza a informação sobre os serviços proporcionados pelas zonas húmidas interiores, em geral, e indica a magnitude relativa, por unidade de área, desses serviços consoante o tipo de zona húmida.

Contudo, apesar do reconhecimento dos benefícios ambientais e económicos proporcionados por estes ecossistemas, muitas destas áreas são ainda actualmente subvalorizadas – sendo por vezes, consideradas apenas como fonte de água – e continuando a ser alvo de drenagem e degradação (European Commission, 2007; Farinha e Trindade, 1994 e Ramsar Convention, 2009). Essa degradação pode provocar alterações na capacidade das zonas húmidas em realizar as suas funções, traduzindo-se na diminuição ou perda de alguns ou todos os seus serviços ambientais (Comissão Europeia, 2009; Michaud, 2001 e Pereira *et al.*, 2009).

Quadro 3.1 - Magnitude relativa (por unidade de área) dos serviços ecossistémicos derivados de diferentes tipos de de zonas húmidas interiores

Escala: ● baixo, ● médio, ● elevado; ? desconhecido. Células em branco indicam que o serviço não é aplicável a esse tipo de zona húmida. A informação que consta no quadro representa opinião especializada para um padrão médio global para as zonas húmidas.

serviços	descrição e exemplos	rios e ribeiros permanentes ou temporários	lagos permanentes, reservatórios	lagos sazonais, pântanos, incluindo várzeas	zonas húmidas florestadas, pântanos, incluindo várzeas	zonas húmidas de tundra	oásis	zonas húmidas geotermiais	zonas húmidas subterráneas, incluindo grutas e sistemas de águas subterráneas
Zonas húmidas interiores									
produção									
alimentos	produção de peixe, caça, frutos, grãos, ...	●	●	●	●	●	●	●	●
água fresca	armazenamento e retenção de água; fornecimento para rega e consumo humano	●	●	●	●	●	●	●	●
fibras e combustível	produção de madeira, lenha, turfa, forragem, agregados	●	●	●	●	●	●	●	●
produtos bioquímicos	extração de materiais	●	●	?	?	?	?	?	?
materiais genéticos	medicina; genes para resistência a agentes patogénicos de plantas, espécies ornamentais, ...	●	●	?	●	?	?	?	?
regulação									
regulação climática	regulação de gases efeito-estufa, temperatura, precipitação, e outros processos climáticos; composição química da atmosfera	●	●	●	●	●	●	●	●
regimes hidrológicos	recarga e descarga de águas subterráneas; armazenamento de água para agricultura ou indústria	●	●	●	●	●	●	●	●
controlo de poluição e desintoxicação	retenção, recuperação, e remoção de excesso de nutrientes e poluentes	●	●	●	●	●	●	●	●
protecção contra a erosão	retenção de solos e prevenção de mudanças estruturais (como por exemplo a erosão costeira)	●	●	●	●	?	●	●	●
desastres naturais	controlo de cheias, protecção contra tempestades	●	●	●	●	●	●	●	●
cultural									
espiritual e inspiração	bem-estar e sentimentos pessoais; significado religioso	●	●	●	●	●	●	●	●
recreativo	oportunidades para turismo e actividades recreativas	●	●	●	●	●	●	●	●
estético	valorização das características naturais	●	●	●	●	●	●	●	●
educação	oportunidades para educação formal e informal	●	●	●	●	●	●	●	●
suporte									
biodiversidade	habitats para espécies residentes e migratórias	●	●	●	●	●	●	●	●
formação do solo	retenção de sedimentos e acumulação de matéria orgânica	●	●	●	●	●	?	?	●
ciclo de nutrientes	armazenamento, reciclagem, processamento, e aquisição de nutrientes	●	●	●	●	●	●	?	●
polinização	suporte para polinizadores	●	●	●	●	●	●	●	●

Fonte: Millennium Ecosystem Assessment, 2005 (Tradução livre)

3.5 Zonas húmidas como depuradores de poluição hídrica

As zonas húmidas são uma componente vital na manutenção e melhoria da qualidade da água. Ao longo dos anos foram surgindo inúmeros trabalhos de investigação, que permitiram compreender a importância destas zonas no controlo da poluição (Dias, *et al.*, 2000).

Os sedimentos destas áreas, juntamente com a vegetação e os microrganismos que lhe estão associados, podem reter inúmeras substâncias, nomeadamente o excesso de azoto e fósforo, funcionando como um sistema depurador das águas que o atravessam (Abreu *et al.*, 1999 e Ramsar Convention, 2009). As zonas húmidas, e em particular os pauis, actuam assim, como filtros naturais, permitindo remover ou reduzir significativamente grande quantidade de poluentes provenientes de fontes pontuais e difusas, incluindo matéria orgânica, sólidos suspensos, excesso de nutrientes, microrganismos patogénicos, metais e outros micropoluentes (Dordio *et al.*, s.d.; Hammer e Bastian, 1989; Millennium Ecosystem Assessment, 2005 e Ramsar Convention, 2009). De facto, a água que flui através de uma zona húmida pode apresentar, consideravelmente, melhor qualidade após a sua passagem pelo sistema (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). São por isso, frequentemente, apelidadas de “rins da paisagem” (Barbier *et al.*, 1997; Dordio *et al.*, s.d. e Mitsch e Gosselink, 2007).

A depuração das águas é realizada por estes ecossistemas através da acção conjunta de diversos processos e mecanismos complexos de natureza física, química e biológica, como a sedimentação, filtração, precipitação química, adsorção em sedimentos, metabolismo vegetal, absorção radicular, metabolismo bacteriano (em particular, amonificação, nitrificação e desnitrificação), entre outros (Dias, *et al.*, 2000; Dordio *et al.*, s.d. e Oliveira, 2007).

De um modo geral, as condições quiescentes de água de uma zona húmida são propícias para a sedimentação dos sólidos em suspensão (EPA, 1988). A reduzida velocidade da água nestes meios, em parte devido à densidade vegetal, permite a deposição de sedimentos e promove um maior tempo de contacto entre a água e as várias superfícies existentes nas zonas húmidas naturais (Dordio *et al.*, s.d.; Mendes, 2010; Michaud, 2001; Millennium Ecosystem Assessment, 2005 e Oliveira, 2007). Além disso, as macrófitas suportam nas suas raízes e caules submersos comunidades bacterianas que transformam e degradam grande variedade de substâncias (EPA, 1988; Mendes, 2010 e Oliveira, 2007). Também o potencial de absorção/filtração das raízes e dos caules das plantas aquáticas e a capacidade de adsorção/troca iónica dos sedimentos são outros aspectos que facilitam a melhoria da qualidade da água (EPA, 1988).

Os sistemas de zonas húmidas naturais são tipicamente caracterizados por vegetação aquática emergente como tábuas (*Typha*), juncos (*Scirpus*) e caniços (*Phragmites*), que asseguram funções depuradoras de poluição (Dobson e Frid, 2009; EPA, 1988 e Fernandes e Cruz, 2011). Essa acção é concretizada pela absorção e utilização dos nutrientes em excesso presentes na água (que de outro modo poderiam causar eutrofização) e pela metabolização de muitas outras substâncias pelos microrganismos associados às raízes, que poderiam vir a ser prejudiciais para a flora ou fauna ou para os utilizadores dessa água, através do consumo ou de fins recreativos (EPA, 1988 e Fernandes e Cruz, 2011). Alguns nutrientes em excesso são incorporados nos tecidos das plantas, como reforço de crescimento, e outros são convertidos

em formas químicas menos nocivas. É o caso, por exemplo, dos fosfatos que são absorvidos pela microflora ou retidos nos detritos vegetais e sedimentos ou, o caso dos nitratos que através do processo de nitrificação-desnitrificação, são convertidos em componentes gasosos e libertados para a atmosfera (Dobson e Frid, 2009).

Os caniçais são particularmente eficazes na depuração da água, não só porque podem absorver nutrientes dissolvidos e melhorar a decomposição de matéria orgânica, mas também porque a sua estrutura actua quer como uma rede, fazendo com que partículas em suspensão se acumulem nos sedimentos, quer como uma superfície de fixação para os microrganismos. Deste modo, os caniçais podem remover os nutrientes em excesso e melhorar a qualidade da água (Dobson e Frid, 2009).

O papel das zonas húmidas, no processamento dos nutrientes e de outras substâncias para o restabelecimento da qualidade da água, não é fácil de generalizar para todos os tipos de zonas húmidas e depende de vários factores entre os quais, a localização geográfica na bacia hidrográfica e o tipo de sedimentos (Abreu *et al.*, 1999).

Apesar da sua capacidade depuradora significativa, muitos destes sistemas entraram em ruptura, por terem sido ultrapassados, em larga escala, os limites máximos que o sistema naturalmente é capaz de processar (Alves, 2001 e EPA, 1996). Esta sobrecarga irá reduzir a sua capacidade de assimilação, tornando estas áreas em polos de contaminação, além de comprometer igualmente outras funções/serviços das zonas húmidas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Outro aspecto a salientar, é a possibilidade de estas zonas poderem sofrer redução na diversidade de espécies, uma vez que o enriquecimento de nutrientes favorece as espécies mais competitivas em detrimento das outras (Dobson e Frid, 2009). O limiar entre as cargas que são toleradas e as que irão causar danos às zonas húmidas não é facilmente determinado (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Durante o século XX, surgiram inúmeros trabalhos de investigação, em diferentes partes do mundo, sobretudo na Alemanha, Dinamarca, Reino Unido, Áustria e EUA, que permitiram uma maior compreensão dos processos envolvidos na assimilação e remoção de poluentes pelas zonas húmidas naturais (Dias *et al.* 2000; Dordio *et al.*, s.d.; Mavioso, 2010 e Verhoeven e Meuleman, 1999). O reconhecimento das capacidades de depuração destes ecossistemas levou à concepção de zonas húmidas construídas para o tratamento de águas residuais, inspiradas nesses sistemas naturais (Dordio *et al.*, s.d.). No início da década de 50, Kate Seidel estudou o comportamento de plantas macrófitas na depuração de diferentes tipos de efluente, dando origem à tecnologia que actualmente se designa por zonas húmidas construídas, ou leito de macrófitas ou ainda fito-ETAR (Mavioso, 2010). Estes sistemas artificiais foram projectados e construídos para reproduzir os processos que ocorrem nas zonas húmidas naturais, mas de forma optimizada e num ambiente mais controlado, utilizando substrato, vegetação e caudal bem definidos e, mais importante, permitindo controlar o escoamento

hidráulico e o tempo de retenção (Dordio *et al.*, s.d. e Hammer e Bastian, 1989). Os sistemas de tratamento através de leitos de macrófitas apresentam eficiências significativas, principalmente no que se refere à elevada capacidade de remoção de carência bioquímica de oxigénio, carência química de oxigénio e sólidos (Mavioso, 2010).

As zonas húmidas construídas apresentam melhores eficiências de remoção de substâncias que as zonas húmidas naturais (Shutes *et al.*, 1997). O desempenho destes sistemas depende fortemente da taxa de carga (água residual/unidade de área.tempo) e das características hidrológicas e ecológicas específicas de cada zona húmida (Verhoeven e Meuleman, 1999). Em geral, segundo, Verhoeven e Meuleman (1999), as zonas húmidas artificiais são concebidas para remover mais de 90% de CBO, CQO, sólidos suspensos e poluição bacteriológica das águas que as atravessam. No entanto, as taxas de remoção de N e P são mais variáveis, permanecendo na maioria dos casos próximo dos 50% (Verhoeven e Meuleman, 1999). Shutes *et al.* (1997) refere valores de remoção média, em zonas húmidas construídas, que variam entre 70-90%, 50-75% e 48-85% para sólidos suspensos, fósforo total e chumbo total, respectivamente. Relativamente às zonas húmidas naturais, não é fácil generalizar as taxas de remoção. Apesar do reconhecimento das capacidades gerais destes sistemas para a depuração da água, é bastante difícil prever a sua resposta à poluição e traduzir o comportamento de uma determinada área geográfica para outra, devido à grande variação dos componentes funcionais que as caracterizam (Dordio *et al.*, s.d.). No Quadro 3.2, apresentam-se valores de remoção encontrados na bibliografia.

Quadro 3.2 - Taxas de remoção pelas zonas húmidas

Zonas húmidas	Fonte	Taxas de remoção	Substâncias
Naturais	EPA (1988)	60-90%	Sólidos suspensos
		70-96%	CBO ₅
		40-90%	Azoto
Construídas	Shutes <i>et al.</i> (1997)	70-90%	Sólidos suspensos
		50-75%	Fósforo total
		48-85%	Chumbo total
	Verhoeven e Meuleman (1999)	> 90%	CBO, CQO, Sólidos suspensos e poluição bacteriológica
		50% (maioria dos casos)	Azoto e Fósforo

Fonte: EPA, 1988; Shutes *et al.*, 1997 e Verhoeven e Meuleman, 1999

3.6 Zonas húmidas no controlo de cheias

3.6.1 O papel das zonas húmidas na regulação de cheias

As cheias são fenómenos naturais que, do ponto de vista estritamente hidrológico, ocorrem numa secção de um curso de água, sempre que a precipitação origina escoamento superficial directo (Lencastre e Franco, 2006). Nos casos em que a precipitação seja particularmente intensa ou prolongada, ou com ambas as características, o escoamento superficial poderá exceder a capacidade de vazão das linhas de águas e transbordar do seu leito habitual, com consequente inundação das margens e áreas adjacentes (Lencastre e Franco, 2006).

A ocorrência de cheias pode, em alguns casos, ser considerada benéfica (Lencastre e Franco, 2006). Na verdade, as cheias são importantes para a manutenção do funcionamento ecológico dos ecossistemas, entre os quais as zonas húmidas, assim como para assegurar muitos dos serviços ambientais que estes proporcionam à sociedade (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Desempenham, também, um papel importante na fertilização natural dos solos das planícies aluviais, devido ao transporte de nutrientes e sedimentos dissolvidos ou suspensos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). A ocorrência periódica deste fenómeno assegurou os meios de subsistência dos seres humanos durante milénios, como no caso da civilização egípcia, com as tradicionais cheias do rio Nilo, que aconteciam anteriormente à construção da barragem de Assuão (Lencastre e Franco, 2006 e Ramsar Convention, 2009).

No entanto, grande parte das vezes, as cheias surgem associadas à inundação dos terrenos marginais com ocorrência de danos físicos, perda de vidas humanas e prejuízos materiais (Lencastre e Franco, 2006). Essa devastação deve-se, maioritariamente, ao uso abusivo das margens e leitos de cheia pelo ser humano (Fernandes e Cruz, 2011). A conversão dessas áreas em campos agrícolas e em zonas urbanas e industriais, substituindo áreas de floresta e matos, provoca alterações das características hidrológicas das bacias hidrográficas (Fernandes e Cruz, 2011 e Michaud, 2001). Muitas zonas urbanas desenvolveram-se em áreas que correspondem a locais de drenagem natural do excesso de água, resultando normalmente numa diminuição da permeabilidade do solo (Fernandes e Cruz, 2011 e Ramsar Convention, 2009). Quando ocorrem tempestades e precipitações intensas, esta diminuição da permeabilidade do solo origina geralmente um aumento, quer dos caudais afluentes às linhas de água, quer da velocidade dessa afluência, aumentando significativamente a frequência e a intensidade das cheias (Fernandes e Cruz, 2011 e Michaud, 2001). Segundo Millennium Ecosystem Assessment (2005), actualmente quase dois mil milhões de pessoas vivem em áreas consideradas de elevado risco de cheia /inundação.

Para efectuar o controlo das cheias e combater os seus efeitos adversos têm sido utilizados diversos meios, como barragens, diques, obras de regulação fluvial, entre outros (Lencastre e

Franco, 2006). No entanto, as zonas húmidas podem também desempenhar um papel de grande importância na defesa natural contra cheias a jusante, após um período de precipitação intensa, devido às suas capacidades de armazenamento e de laminação de caudais (Ramsar Convention, 2009).

Normalmente, estes ecossistemas actuam como reservatórios ou esponjas naturais, armazenando temporariamente a água proveniente da precipitação e do escoamento superficial, libertando-a gradualmente ao longo do tempo para os aquíferos e cursos de água (EPA, 2001; Hammer e Bastian, 1989; Maltby e McInnes, 1997; Michaud, 2001 e Smardon, 2011). Desta forma, ao reterem a água e ao permitirem a sua infiltração no solo ao longo de um maior período de tempo, conseguem dissipar o volume e o caudal, diminuindo quer a altura de cheia quer o pico da cheia (Barbier, *et al.*, 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005 e Ramsar Convention, 2009). Ocorre assim, um amortecimento da cheia, que minimiza a inundação local e reduz o risco de cheia a jusante (Barbier, *et al.*, 1997; EPA 2001; Maltby e McInnes, 1997 e Farinha *et al.*, 2001) (Figura 3.6). Torna-se assim possível minimizar os efeitos das cheias (Boavida, 1999; EPA, 2001 EPA 2006 e Ramsar Convention, 2009).

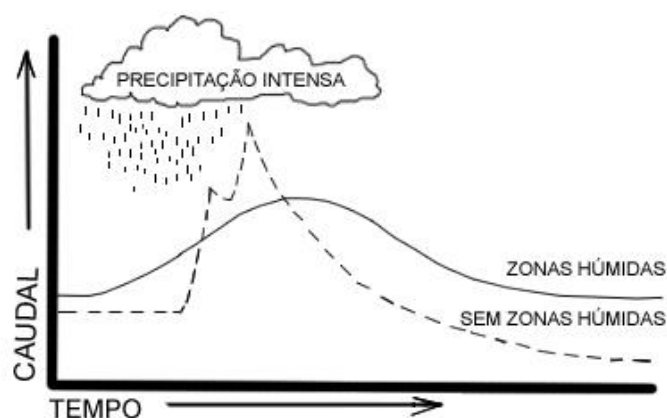


Figura 3.6 - Controlo de inundações pelas zonas húmidas

Fonte: EPA; 2006 (adaptado; tradução livre)

Durante a estação húmida, quando o caudal dos cursos de água aumenta rapidamente e o escoamento transborda o leito menor, a vegetação existente nestas zonas diminui a velocidade de escoamento das águas superficiais o que, em combinação com o armazenamento de água, pode reduzir o pico de cheia e o seu potencial destrutivo (Alves *et al.*, 1998 e EPA 2006).

Contudo, é importante salientar que nem todas as zonas húmidas conseguem mitigar o risco de inundação (Barbier *et al.*, 1997). Na verdade, algumas destas áreas podem desempenhar funções hidrológicas contrárias. É o caso de determinadas zonas húmidas ribeirinhas ou localizadas junto a nascentes que, devido à tendência para serem saturadas, geram elevados volumes de caudal, aumentando assim o risco de inundação a jusante (Barbier *et al.*, 1997 e

Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Por isso, torna-se fundamental efectuar uma avaliação das funções hidrológicas referentes a uma zona húmida (Barbier *et al.*, 1997).

O desempenho das zonas húmidas no controlo de cheias depende de vários factores, entre os quais, o tipo de zona húmida, a localização, área e vegetação, assim como, a permeabilidade e o coeficiente de saturação do solo antes da inundação (EPA, 2006 e Michaud, 2001). É de salientar que, a quantidade de água armazenada por uma zona húmida de pequena dimensão pode não ser significativa; contudo essa zona húmida pode estar integrada numa rede de várias zonas húmidas, contribuindo para uma capacidade de armazenamento de água significativa (EPA, 2001).

Estes ecossistemas podem constituir assim, a primeira linha de defesa contra inundações, sendo que a sua degradação e perda provoca um aumento do risco da ocorrência de cheias (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). A preservação das zonas húmidas é fundamental, e conjuntamente com outras medidas de controlo de cheias oferece, muitas vezes, protecção contra inundações (EPA, 2006 e Maltby e McInnes, 1997).

3.6.2 Conceitos utilizados no estudo das cheias

As precipitações intensas são as precipitações capazes de ocasionar situações de cheia (ARHTejo, 2011). Na ausência de informação hidrométrica relevante relativamente a uma bacia hidrográfica, o estudo das precipitações intensas é essencial para a determinação indirecta dos *caudais de ponta de cheia*, também designados por *caudais máximos de cheia* (Brandão *et al.*, 2001 e Lencastre e Franco, 2006).

Lencastre e Franco (2006) define precipitação intensa de curta duração como chuvadas de grande intensidade com duração de alguns dias, até duração da ordem dos minutos, dependendo da dimensão da bacia hidrográfica ou da área de contribuição. Este tipo de precipitação é caracterizado, fundamentalmente, por três parâmetros: duração, intensidade e frequência, sendo esta última, normalmente traduzida pelo número de ocorrências e geralmente expressa em termos de período de retorno. O período de retorno é definido como o número médio de anos que devem decorrer para que o valor do caudal ocorra ou seja superado (Lencastre e Franco, 2006).

Para uma dada região, a relação entre a altura máxima de precipitação e a duração respectiva, associada a uma dada frequência, denomina-se por *curva de possibilidade udométrica*, sendo essa relação expressa por:

Equação 3.1

$$h = a \times t^n$$

onde,

h - altura máxima de precipitação (mm)

t – tempo, duração da chuvada (horas ou minutos)

a e n - constantes características de cada local e de cada período de retorno (adimensional)

As curvas de possibilidade udométrica podem também ser obtidas, relacionando a intensidade média de precipitação e a sua duração, sendo traduzidas por:

Equação 3.2

$$\bar{i} = a \times t^n$$

onde,

\bar{i} - intensidade média de precipitação (mm/h)

t – tempo, duração da chuvada (horas ou minutos)

a e n - constantes características de cada local e de cada período de retorno (adimensional)

A conversão de valores de alturas de precipitação (mm) em valores de intensidade média de precipitação (mm/h) pode ser efectuada através da aplicação da Equação 3.3:

Equação 3.3

$$\bar{i} = \frac{h}{t}$$

onde,

\bar{i} - intensidade média de precipitação (mm/h)

h - altura máxima de precipitação (mm)

t - tempo, duração da chuvada (horas ou minutos)

O conjunto das curvas de possibilidade udométrica, referentes ao mesmo local e a diferentes períodos de retorno, designa-se por *curvas de Intensidade-Duração-Frequência* (curvas IDF) (Brandão *et al.*, 2001 e Lencastre e Franco, 2006).

Ao longo dos tempos foram, desenvolvidos vários métodos para a determinação dos caudais de ponta, entre os quais fórmulas empíricas, métodos estatísticos e fórmulas cinemáticas (Lencastre e Franco, 2006). As fórmulas cinemáticas têm em consideração não só as características fisiográficas da bacia hidrográfica, mas também o movimento da água na bacia. Dentro destas, destacam-se as fórmulas de Giandotti, *Soil Conservation Service* e Racional (Lencastre e Franco, 2006).

A Fórmula Racional, também denominada por Método Racional (Equação 3.4), é das fórmulas mais utilizadas para estimar caudais de ponta de cheia e a sua expressão é dada por:

Equação 3.4

$$Q_p = c \times \bar{i} \times A$$

onde,

Q_p - caudal de ponta da cheia (m³/s);

c - coeficiente da Fórmula Racional (adimensional) baseado no tipo de solo e de ocupação do solo;

\bar{i} - intensidade média da precipitação (m/s) com duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica e para o mesmo período de retorno para o qual se pretende calcular o caudal de ponta de cheia;

A - área da bacia hidrográfica (m²).

A Fórmula Racional não entra em consideração com as perdas iniciais de precipitação, ou seja, com a fracção de precipitação que não contribui para o escoamento superficial. A aplicação desta fórmula à análise de cheias em Portugal Continental tem constituído prática corrente, nomeadamente em fases preliminares de estudos ou em projectos de obras de menor magnitude (Portela e Hora, 2002). Tal facto deve-se à sua simplicidade, uma vez que não requer informação hidrométrica (de maior dificuldade de obtenção), fazendo apenas intervir intensidades médias das precipitações com dados períodos de retorno e com durações iguais aos tempos de concentração das bacias hidrográficas (Portela e Hora, 2002).

Ao determinar a intensidade média da precipitação, na Fórmula Racional, a duração da chuvada (t) deve ser considerada igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica (t_c) de forma a garantir-se a participação de toda a área de drenagem da bacia hidrográfica, em simultâneo, para o escoamento na secção de referência. O tempo de concentração é definido como o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na secção de referência ou seja, por outras palavras, é o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia hidrográfica chegue à secção de referência (Lencastre e Franco, 2006). O tempo de concentração é uma característica da bacia hidrográfica, sendo independente das características do evento de precipitação, e pode ser determinado através das fórmulas de Giandotti (Equação 3.5), Kirpich (Equação 3.6) e Temez (Equação 3.7).

Equação 3.5

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,80\sqrt{H}}$$

onde,

t_c - tempo de concentração (h)

A - área da bacia hidrográfica (km²)

L - comprimento da linha de água principal (km)

\bar{H} - altura média da bacia hidrográfica (m)

Equação 3.6

$$t_c = 0,0663 \times \left(\frac{L^{1,155}}{\Delta h^{0,385}} \right)$$

onde,

t_c - tempo de concentração (h)

L - comprimento da linha de água principal (km)

Δh - diferença de cotas na linha de água principal (km)

Equação 3.7

$$t_c = 0,3 \times \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$$

onde,

t_c - tempo de concentração (h)

L - comprimento da linha de água principal (km)

S - declive médio da linha de água (adimensional)

A representação gráfica do caudal que passa numa secção de um curso de água, em função do tempo denomina-se por hidrograma (Figura 3.7) (Barbosa, s.d. e Porto, 1999).

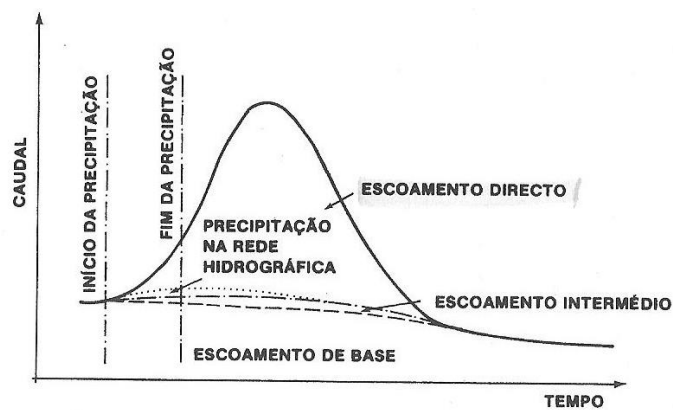


Figura 3.7 - Componentes de um hidrograma

Fonte: Lencastre e Franco, 2006

O hidrograma é constituído por duas componentes principais do escoamento superficial: o *escoamento directo*, resultante da precipitação útil, e o *escoamento de base* ou *subterrâneo*,

que provém da contribuição das reservas subterrâneas. Em rigor, embora com contribuições pouco significativas há ainda a componente do escoamento intermédio e a componente do escoamento resultante da precipitação sobre a bacia hidrográfica (Lencastre e Franco, 2006). Durante os períodos de precipitação intensa o escoamento directo constitui a componente mais significativa. No entanto, assim que cessa a precipitação, a importância desta componente começa a diminuir (Lencastre e Franco, 2006).

O hidrograma pode ser entendido como a resposta da bacia hidrográfica a um evento de precipitação, sendo que essa resposta depende das características físicas da bacia (relevo, solos, ocupação do solo) e das características do evento (duração e intensidade da precipitação) (Porto, 1999). Precipitações com a mesma intensidade e duração tendem a gerar respostas de escoamento (hidrogramas) semelhantes. Chuvas mais intensas tendem a gerar mais escoamento e hidrogramas mais pronunciados, enquanto chuvas menos intensas tendem a gerar hidrogramas mais atenuados, com menor caudal de ponta de cheia.

Na Figura 3.8 está representado um hidrograma de cheia tipo, registado após uma chuvada isolada ocorrida na respectiva bacia hidrográfica. Tem geralmente a forma de uma campânula assimétrica e contempla quatro fases: curva de crescimento, ponta do hidrograma, curva de decrescimento e curva de esgotamento (Lencastre e Franco, 2006).

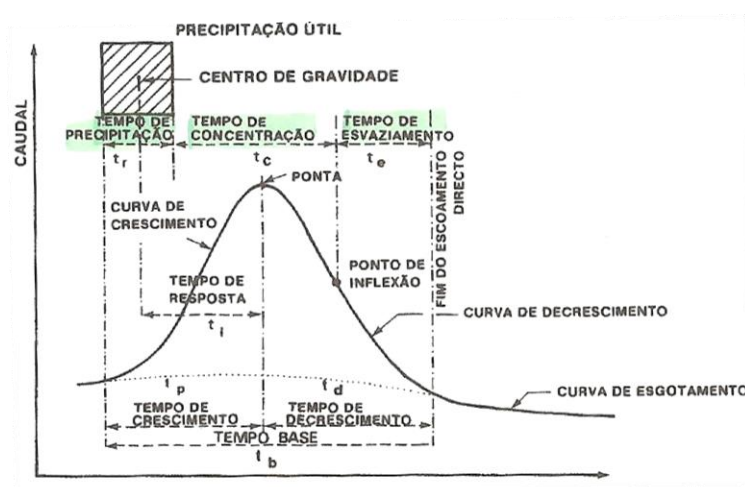


Figura 3.8 - Características do hidrograma de cheia tipo

Fonte: Lencastre e Franco, 2006

Após o início da precipitação, decorre um determinado intervalo de tempo até que o caudal comece a aumentar, reflectindo a chegada da água que começou a escoar na região mais próxima da secção de referência da bacia (Porto, 1999). Este intervalo é determinado pelo tempo de deslocamento da água nas superfícies do terreno, bem como pelas perdas iniciais que são decorrentes da interceptação vegetal e outros obstáculos, da retenção da água nas depressões do terreno e da infiltração que colmata a deficiência de humidade do solo

(Barbosa, s.d.). Uma vez superadas as capacidades relativas a estes processos, inicia-se o escoamento superficial, registando-se um aumento contínuo do valor do caudal (*curva de crescimento*), até atingir o valor máximo (*ponta do hidrograma*). Após este pico de caudal, verifica-se a diminuição progressiva do escoamento directo (*curva de decrescimento*) (Barbosa, s.d. e Lencastre e Franco, 2006). Normalmente, na curva de decrescimento observa-se um ponto de inflexão, que caracteriza o final da contribuição do escoamento directo gerado nas zonas de jusante da bacia hidrográfica (Barbosa, s.d.). Por fim, o último trecho do hidrograma denomina-se por *curva de esgotamento* que, corresponde ao decréscimo exponencial do escoamento de base, depois de terem cessado as contribuições das restantes componentes do escoamento superficial (Lencastre e Franco, 2006).

O método racional permite fazer uma aproximação do hidrograma de cheia a uma figura geométrica. No caso em que a duração da chuvada é igual ao tempo de concentração ($t=t_c$), o hidrograma assume a forma triangular, com vértice nas coordenadas (t_c, Q_p) (Figura 3.9). Na situação em que o tempo de duração da chuvada é superior ao tempo de concentração ($t>t_c$), obtém-se um hidrograma trapezoidal, em que a base menor e a base maior correspondem, respectivamente, a $t - t_c$ e $t_c + (t - t_c) + \frac{5}{3}t_c$ (Figura 3.10).

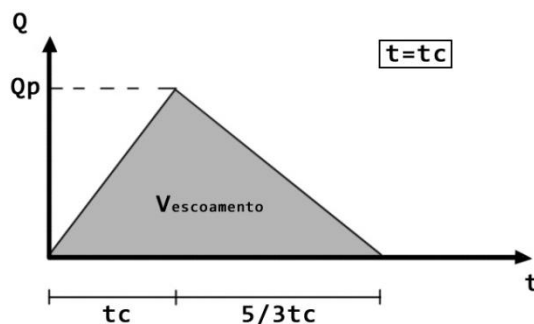


Figura 3.9 - Hidrograma de cheia para $t=t_c$

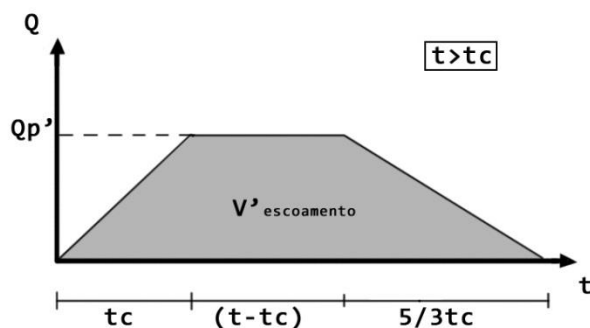


Figura 3.10 - Hidrograma de cheia para $t>t_c$

A área limitada pelo hidrograma e pelo eixo das abcissas representa o volume de escoamento ($V_{\text{escoamento}}$), que é obtido pela Equação 3.8, para a situação em que $t=t_c$, e pela Equação 3.9

para a situação em que $t > t_c$.

Equação 3.8

$$V_{escoamento} = \frac{\left(t_c + \frac{5}{3}t_c\right)}{2} \times Q_p$$

onde,

$V_{escoamento}$ – volume de escoamento (m^3)

t_c – tempo de concentração (h)

Q_p – caudal de ponta (m^3/h)

Equação 3.9

$$V_{escoamento} = \left[\frac{\left(t_c + (t - t_c) + \frac{5}{3}t_c\right) + (t - t_c)}{2} \right] \times Q'_p$$

onde,

$V_{escoamento}$ – volume de escoamento (m^3)

t_c – tempo de concentração (h)

Q'_p – caudal de ponta (m^3/h)

3.7 Convenção de Ramsar e outros instrumentos de direito internacional e comunitário

As zonas húmidas estão entre os habitats mais ameaçados em todo o mundo (Dodds e Whiles, 2010). A sua preservação é um dos objectivos prioritários das políticas de conservação da Natureza a nível internacional e europeu (European Commission, 2007), sendo necessário um conjunto de esforços coordenados à escala global que ultrapassa as fronteiras políticas e/ou geográficas (Farinha e Trindade, 1994). Nesse contexto, surgiram várias medidas legais e diversos acordos e convenções internacionais, com incidência directa e indirecta na conservação e gestão destes ecossistemas (Alves, 2001). O primeiro acordo com particular relevância nesse âmbito é a *Convenção sobre as Zonas Húmidas de Importância Internacional Especialmente como Habitat de Aves Aquáticas* (Dodds e Whiles, 2010 e European Commission, 2007).

Esta Convenção, abreviadamente designada por *Convenção de Ramsar* ou *Convenção sobre Zonas Húmidas*, constitui um tratado intergovernamental que estabelece o quadro de acção

nacional e cooperação internacional para a conservação e uso racional de zonas húmidas e dos seus recursos (Dodds e Whiles, 2010 e Ramsar, 2013). Este tratado foi assinado em Fevereiro de 1971, na cidade iraniana de Ramsar, por 18 estados signatários e entrou em vigor quatro anos depois, em 1975 (Farinha e Trindade, 1994; Ramsar, 2013 e Silva *et al.*, 2012). Foi transposta para o normativo jurídico português através do Decreto n.º 101/80 de 9 de Outubro (ICNF, s.d.a).

Originalmente centrada na conservação de zonas húmidas com relevância como habitat para aves aquáticas, a Convenção de Ramsar adoptou, posteriormente, uma abordagem mais ampla, reconhecendo que a protecção das zonas húmidas deve considerar não apenas a importância destes ecossistemas na manutenção da biodiversidade (valores ecológicos, botânicos, zoológicos, limnológicos e hidrológicos), mas também, o bem-estar das comunidades humanas, englobando aspectos de valor social, económico, cultural, científico e recreativo (Ramsar, 2013).

A Convenção tem como missão a “conservação e a utilização sustentável de todas as zonas húmidas através de acções a nível local, regional e nacional e de cooperação internacional, como contributo para atingir um modelo de desenvolvimento sustentável a nível mundial” (Ramsar, s. d.). Entende-se por utilização sustentável das zonas húmidas, a manutenção do seu carácter ecológico, ou seja, a manutenção dos seus componentes e processos, incluindo os serviços que prestam para a sociedade (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

As partes contratantes comprometem-se a assumir alguns compromissos, entre os quais, a designação de zonas húmidas para integrarem a Lista de Sítios Ramsar. Essa designação é efectuada com base em critérios adoptados pela Convenção para identificação de Zonas Húmidas de Importância Internacional (ICNF, s.d.a e Ramsar, s.d.). Esses critérios podem ser consultados no Anexo I.

Actualmente, a Convenção tem 168 estados signatários com 2161 sítios integrados na Lista de zonas húmidas de importância internacional, totalizando uma área superior a 200 milhões de hectares (Ramsar; s.d. e Ramsar, 2013).

Para além da Convenção de Ramsar, a protecção e conservação das zonas húmidas enquanto habitats naturais da fauna e da flora selvagens tem sido objecto de salvaguarda, ainda que de forma indirecta, por parte de várias outras Convenções internacionais (Silva *et al.*, 2012). Destacam-se algumas dessas Convenções:

Convenção sobre a Conservação das Espécies Migradoras Pertencentes à Fauna Selvagem (Convenção de Bona)

A *Convenção sobre a Conservação das Espécies Migradoras Pertencentes à Fauna Selvagem*, ou simplesmente *Convenção de Bona*, foi assinada na Alemanha, em Bona, em Junho de

1979, sendo ratificada por Portugal pelo Decreto-Lei nº 103/80 de 11 de Outubro (Alves, 2001 e ICNF, s.d.a).

Consiste num tratado intergovernamental, que tem como objectivo a conservação das espécies migradoras em toda a sua área de distribuição natural, bem como dos respectivos habitats, onde se enquadram implicitamente as zonas húmidas, áreas de que várias espécies dependem (ICNF, s.d.a).

Convenção sobre a Conservação da Vida Selvagem e os Habitats Naturais na Europa (Convenção de Berna)

A *Convenção sobre a Vida Selvagem e os Habitats Naturais na Europa* foi assinada em Berna, (Suíça), a 19 de Setembro de 1979, e foi transposta para o normativo jurídico português através do Decreto-Lei n.º 95/81 de 23 de Julho (Alves, 2001 e ICNF, s.d.a).

Tem como finalidade promover a cooperação entre os Estados signatários, a fim de conservar a fauna e a flora selvagens, assim como os habitats naturais, entre os quais as zonas húmidas. Dedicar particular ênfase à protecção dos habitats naturais e das espécies em perigo ou vulneráveis, incluindo as espécies migratórias (ICNF, s.d.a).

A convenção abrange a maior parte do património natural do continente europeu e estende a sua influência também ao norte de África para o cumprimento dos objectivos da conservação das espécies migradoras, listadas nos seus anexos, que passam uma parte do ano nesse território (ICNF, s.d.a).

Convenção das Nações Unidas sobre a Diversidade Biológica

A *Convenção sobre a Diversidade Biológica* foi assinada no Rio de Janeiro, Brasil, em 5 de Junho de 1992, no âmbito da Conferência do Rio, tendo Portugal procedido à sua ratificação através do Decreto n.º 21/93, de 21 de Junho (Silva *et al.*, 2012). Tem como objectivo “a conservação da diversidade biológica, a utilização sustentável dos seus componentes e a partilha justa e equitativa dos benefícios provenientes da utilização dos recursos genéticos” (ICNF, s.d.a).

É de salientar que, a Comissão Europeia, como parte contratante da Convenção, adoptou em Maio de 2006 uma comunicação sobre a Biodiversidade e um plano de acção que definia as acções prioritárias, para deter a perda de biodiversidade até 2010. Muitos dos objectivos, metas e acções desse plano são directamente relevantes para a conservação e uso racional de zonas húmidas (European Commission, 2007).

A nível comunitário a protecção das zonas húmidas iniciou-se em 1973, na sequência da *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Humano* (1972), através da adopção do primeiro

Programa de Acção em matéria de ambiente (Silva *et al.*, 2012). Desde então, a UE tem adoptado um conjunto de medidas legislativas, de forma a garantir a sua protecção e conservação, entre as quais se destacam a Directiva Aves, a Directiva Habitats e a Directiva Quadro da Água (DQA) (European Commission, 2007 e Silva *et al.*, 2012). Têm também surgido alguns programas de financiamento da UE (LIFE, PHARE, LIFE+) para apoiar, entre outras questões, projectos relacionados com a conservação, restauração ou melhoria de zonas húmidas (European Commission, 2007).

Directiva n.º 79/409/CEE (Directiva Aves)

A Directiva 79/409/CEE do Conselho, de 2 de Abril de 1979, comumente designada por Directiva Aves, visa a protecção das populações selvagens das várias espécies de aves que ocorrem no território europeu dos Estados membros ao qual é aplicável o Tratado. Foi revogada pela Directiva nº 2009/147/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de Novembro.

Determina medidas de conservação especial para as espécies de aves e seus habitats, listadas no seu Anexo I, e para as espécies de aves migratórias não referidas no Anexo I mas cuja ocorrência seja regular, estabelecendo Zonas de Protecção Especial (ZPE) (ICNF, s.d.a).

Foi transposta para o regime jurídico português pelo Decreto-Lei n.º 75/91, de 14 de Fevereiro tendo sido revogada pelo Decreto-Lei n.º 140/99, de 24 de Abril (Silva *et al.*, 2012).

A Directiva Aves reconhece a necessidade de protecção das zonas húmidas como habitat vital para aves aquáticas (Silva *et al.*, 2012). Em Junho de 2007, das 4830 ZPE propostas pelos Estados membros da UE-27, 645 foram listadas como Sítios Ramsar (European Commission, 2007).

Directiva n.º 92/43/CEE (Directiva Habitats)

A Directiva 92/43/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1992, denominada também Directiva Habitats, tem como principal objectivo a conservação dos habitats naturais e da flora e fauna selvagens (com excepção das aves protegidas pela Directiva Aves), considerados ameaçados no território da União Europeia (ICNF, s.d.a).

Com base nas espécies e nos habitats listados na Directiva, os Estados membros identificam áreas a proteger, designando-as por Sítios de Importância Comunitária (SIC), que são, posteriormente classificados como Zonas Especiais de Conservação (ZEC) (ICNF, s.d.a). Algumas destas áreas estão classificadas como Zonas Húmidas de Importância Internacional (European Commission, 2007).

Portugal ratificou-a em 1997, através do DL n.º 226/97, de 27 de Agosto (Silva *et al.*, 2012), sendo no presente transposta conjuntamente com a Directiva Aves, através do Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril (Alves, 2001).

Comunicação sobre a utilização racional e conservação das zonas húmidas

A Comunicação relativa à “Utilização racional e Conservação das Zonas Húmidas”, da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu, de 29 de Maio de 1995, estabelece uma base estratégica para a política de conservação das zonas húmidas (Silva *et al.*, 2012).

É o primeiro documento europeu dedicado exclusivamente à conservação destes ecossistemas, e surgiu pelo reconhecimento, por parte da Comissão Europeia, da gravidade da situação das zonas húmidas do território comunitário e pela necessidade de actuar na perspectiva do seu desenvolvimento sustentável (European Commission, 2007 e Silva *et al.*, 2012).

Rede natura 2000

Consiste numa rede ecológica no espaço da União Europeia, resultante da aplicação das Directivas Aves e Habitats, que tem como finalidade assegurar a biodiversidade, através da conservação das espécies e habitats mais ameaçados da Europa (DL n.º 142/2008 e ICNF, s.d.a).

É constituída pelas áreas classificadas como ZPE e ZEC (ICNF, s.d.a), sendo o principal instrumento para a conservação da natureza na União Europeia (European Commission, 2007). As zonas húmidas representam um número significativo de sítios integrados na Rede Natura 2000 (European Commission, 2007).

Directiva Quadro da Água

A Directiva Quadro da Água, já referida no capítulo 2 do presente trabalho, identifica claramente a necessidade de protecção e recuperação das zonas húmidas. Nesse âmbito, foi elaborado um documento de orientação para ajudar os Estados-Membros na implementação da DQA no que diz respeito às zonas húmidas, fazendo a ligação com a política de conservação da natureza, em especial com as Directivas Aves e Habitats (European Commission, 2007).

3.8 As Zonas Húmidas em Portugal

3.8.1 Enquadramento

Em Portugal, os princípios da defesa, da conservação e de uma gestão ecológica e sustentada das zonas húmidas, encontram-se formalmente consagrados em legislação própria, que decorre da assinatura de várias convenções, nomeadamente as Convenções de Ramsar, de Berna e de Bona. Esses princípios foram posteriormente reforçados, em consequência da adesão do nosso país à actual União Europeia, resultando na aplicação a Portugal das disposições contidas em várias directivas (Farinha e Trindade, 1994).

Ao longo dos anos, foram efectuados vários estudos que contribuíram para um conhecimento generalizado sobre as zonas húmidas portuguesas (Farinha *et al.*, 2001). Algumas zonas húmidas, quando apreciadas caso a caso, podem parecer desprovidas de relevância especial. Contudo, a sua protecção e gestão são fundamentais para a manutenção de uma rede natural destes ecossistemas. Essa rede é essencial para a conservação da diversidade biológica global, nomeadamente de espécies de aves migradoras (Associação PATO, 2004). A localização de Portugal no extremo ocidente da Europa e a sua proximidade com África, reforçam ainda mais a importância internacional das zonas húmidas portuguesas, uma vez que têm um papel fundamental nas rotas migratórias de aves entre os dois continentes, como local de paragem para repouso e alimentação (Farinha e Trindade, 2001).

Em 1988, foi identificada a existência de um corredor de zonas húmidas ao longo do Algarve e da costa litoral oeste. Na totalidade, foram identificadas nessa faixa de território, 44 áreas de importância internacional, segundo os critérios estabelecidos pela Convenção de Ramsar, entre as quais se incluíam, as rias Formosa e de Aveiro assim como, os estuários do Tejo e do Sado. Parte dessas zonas identificadas, vieram, posteriormente, a integrar a Lista de Sítios Ramsar (Farinha *et al.*, 2001 e MedWet, 2005).

Mais tarde, Farinha e Trindade (1994) procederam ao levantamento e sistematização da informação disponível, proveniente de diversas fontes, resultando na publicação “Contribuição para o Inventário e Caracterização de Zonas Húmidas em Portugal Continental”, em 1994. De acordo com esse estudo, a área total de todas as zonas húmidas identificadas foi de 130 943 ha, o que corresponde a 1,5% da área de Portugal continental (Farinha *et al.*, 2001 e MedWet, 2005). Contudo, nunca foi elaborado e publicado um inventário exaustivo destes ecossistemas, instrumento imprescindível para a sua conservação e gestão a nível nacional (Farinha *et al.*, 2001 e Silva *et al.*, 2012).

Com o objectivo de parar e inverter a perda e a degradação das zonas húmidas em Portugal, foi criado, em 1999, o projecto “Conservação das Zonas Húmidas (1999-2003)” (Silva *et al.*, 2012). Este projecto promovia a utilização sustentável destes ecossistemas e a manutenção da

sua biodiversidade, tendo como uma das acções prioritárias a elaboração do Inventário Nacional de Zonas Húmidas (Farinha *et al.*, 2001 e Silva *et al.*, 2012). Na linha do reforço da política de conservação da Natureza, em 2001, surgiu a *Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e da Biodiversidade* que veio dar relevância à protecção das zonas húmidas, determinando que fosse prosseguida a actuação do Instituto da Conservação da Natureza e Biodiversidade (ICNB) – actual Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) - no âmbito do projecto “Conservação de Zonas Húmidas (1999-2003)” (Silva *et al.*, 2012), de modo a:

“concluir a inventariação e caracterização das zonas húmidas, aprofundar a respectiva base de dados e desenvolver, em articulação com as entidades com jurisdição territorial, planos de gestão para assegurar a sua conservação, recuperação e utilização sustentável, bem como a divulgação dos seus valores naturais”.

(Cfr. Opção Estratégica nº5, alínea d, *in* ENCNB, RCM nº152/2001)

Neste contexto, foram desenvolvidas acções que conduziram à inscrição de novos Sítios Ramsar em 2005 e à identificação de zonas húmidas que se enquadravam nas disposições da Directiva Aves ou da Directiva Habitats, tendo sido proposta a sua inclusão na rede Natura 2000. Foram também integradas na Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP) algumas zonas húmidas que não tinham esse estatuto de protecção: Lagoas de Bertandos e S. Pedro de Arcos, Lagoa de Santo André e Paul da Tornada (Silva *et al.*, 2012).

A nível nacional, o ICNF tem desenvolvido acções de valorização e recuperação de algumas zonas húmidas degradadas e de manutenção dos seus habitats, fauna e flora, parte delas incluídas em projectos co-financiados pelo Programa LIFE e pelo FEDER (Silva *et al.*, 2012). Tem também promovido acções de educação ambiental em várias Áreas Protegidas e junto de populações locais, com o objectivo de divulgar a importância das zonas húmidas (Silva *et al.*, 2012).

A nível internacional, este instituto, tem tido um forte envolvimento em projectos e organizações relevantes para a conservação das zonas húmidas, onde se salienta a representação nacional na Convenção de Ramsar e no projecto MedWet. No âmbito desse projecto foi desenvolvida uma base de dados de zonas húmidas mediterrâneas, tendo sido inventariadas 1302 zonas húmidas em Portugal continental. Esta base de dados é um contributo essencial para a gestão de zonas húmidas, e encontra-se disponível em http://194.79.77.133/medsite_public/index.php (Farinha *et al.*, 2001 e MedWet, 2005).

Relativamente, aos pauis existentes em Portugal, verifica-se que actualmente quase não subsistem zonas húmidas deste tipo, em que o seu regime hídrico não tenha sido alterado por intervenção humana, quer através da construção de taludes ou pequenas represas que retêm a água, quer através da criação de uma rede de valas de drenagem. Frequentemente, este tipo

de zona húmida era, transformado parcial ou totalmente, em arrozais ou em outros campos agrícolas. Mesmo alguns pauis mais célebres pela sua biodiversidade, como o caso do Paul do Boquilobo, sofreram alterações profundas. Apesar disso, estes ecossistemas permanecem áreas de grande densidade e diversidade de aves aquáticas, comparáveis apenas aos grandes estuários e rias da zona costeira (Catry *et al.*, 2010). Entre os pauis mais notáveis de Portugal, em termos de características ecológicas e da avifauna que suportam, estão os Pauis do Baixo Mondego (Arzila, Madriz, Taipal), assim como o Paul do Boquilobo e o Paul de Tornada (Catry *et al.*, 2010).

Segundo a Quercus (2011), apesar da protecção legal, as zonas húmidas continuam sujeitas a uma elevada degradação devido a um grande número de ameaças, entre as quais a poluição proveniente dos aglomerados urbanos. A associação alerta para a necessidade de uma efectiva articulação entre as entidades com competências na gestão das zonas húmidas, nomeadamente as ARH e o ICNF (Quercus, 2011).

3.8.2 A implementação da Convenção de Ramsar em Portugal

A Convenção de Zonas Húmidas de Importância Internacional entrou em vigor em 1975, mas Portugal apenas a assinou em Outubro de 1980 (DL n.º 101/80). Com a ratificação da Convenção, o governo português comprometeu-se a desenvolver esforços no sentido de assegurar a conservação destes ecossistemas, e adoptou no direito interno o conceito de zonas húmidas definido no artigo 1.º da referida convenção (DL n.º 101/80; ICNF, s.d.a e Silva *et al.*, 2012). No entanto, na Lei de Bases do Ambiente não existe um enquadramento específico relativo a estes ecossistemas, nem está consagrada qualquer definição deste conceito nem do conceito de *utilização sustentável*. O conceito de zona húmida também não se encontra definido nos diplomas de classificação das zonas húmidas listadas como sítios Ramsar (Silva *et al.*, 2012).

A fim de tornar efectiva a aplicação da Convenção no nosso país, foram classificadas, numa primeira fase, duas zonas húmidas como Sítios Ramsar: o Estuário do Tejo e a Ria Formosa, em 1980. Em 1996, Portugal designou mais oito novos Sítios para incluir na Lista de Zonas Húmidas de Importância Internacional: Paul de Arzila, Paul da Madriz, Paul do Boquilobo, Lagoa de Albufeira, Estuário do Sado, Lagoas de Santo André e Sancha, Ria de Alvor, e Sapais de Castro Marim (Farinha *et al.*, 2001; MedWet, 2005 e Silva *et al.*, 2012). Posteriormente, em 2001, 2005, 2008 e 2012 foram designados mais Sítios Ramsar no território nacional. Actualmente, Portugal tem 31 Zonas húmidas (18 no continente e 13 no arquipélago dos Açores) a integrar a Lista de Sítios Ramsar que perfazem uma área total de 132 487 hectares (Quadro 3.3).

Quadro 3.3- Zonas húmidas portuguesas que integram a Lista de Sítios Ramsar

Nome	Região	Área (ha)	Data de designação
Estuário do Tejo	Lisboa e Vale do Tejo	14 563	24 Novembro
Ria Formosa	Algarve	16 000	1980
Paul de Arzila	Centro	585	8 Maio 1996
Paul de Madriz (Mondego)	Centro	226	
Paul do Boquilobo	Lisboa e Vale do Tejo	529	
Lagoa de Albufeira	Lisboa e Vale do Tejo	1 995	
Estuário do Sado	Alentejo	25 588	
Ria de Alvor	Algarve	1 454	
Lagoas de Santo André e Sancha	Alentejo	2 638	
Sapal de Castro Marim	Algarve	2 235	
Paul de Tornada	Lisboa e Vale do Tejo	50	24 Outubro
Paul do Taipal	Centro	233	2001
Lagoa de Bertandos e de S. Pedro de Arcos	Norte	346	2 Dezembro 2005
Planalto superior da Serra da Estrela e troço superior do rio Zêzere	Centro	5 075	
Fajãs das Lagoas da Caldeira e dos Cubres	Arquipélago dos Açores	87	
Polje de Mira-Minde e nascentes associadas	Lisboa e Vale do Tejo	662	
Estuário do Mondego	Centro	1 518	
Caldeira da Graciosa (Fuma do Enxofre)	Arquipélago dos Açores	120	16 Junho 2008
Caldeira do Faial	Arquipélago dos Açores	312	
Caldeirão do Corvo	Arquipélago dos Açores	316	
Complexo Vulcânico das Furnas	Arquipélago dos Açores	2 855	
Complexo Vulcânico das Sete Cidades	Arquipélago dos Açores	2 171	
Complexo Vulcânico do Fogo	Arquipélago dos Açores	2 182	
Ilhéus das Formigas e Recife de Dollabarat	Arquipélago dos Açores	7	
Planalto Central da Terceira (Furnas do Enxofre e Algar do Carvão)	Arquipélago dos Açores	1 283	
Planalto Central das Flores (Morro Alto)	Arquipélago dos Açores	2 572	
Planalto Central de São Jorge (Pico da Esperança)	Arquipélago dos Açores	231	
Planalto Central do Pico (Achada)	Arquipélago dos Açores	748	
Pateira de Fermentelos e vale dos rios Águeda e Cértima	Centro	1 559	27 Julho 2012
Ribeira do Vascão (Vale do Guadiana)	Algarve	44 331	30 Outubro 2012
Paul da Praia da Vitória	Arquipélago dos Açores	16	13 Dezembro 2012

Fonte: Ramsar Convention, s.d. (adaptado)

Actualmente, todos os Sítios Ramsar em Portugal estão sujeitos a algum regime legal de protecção, por se incluírem na RNAP, por serem ZPE, por constarem da Lista Nacional de Sítios definidos no âmbito da Directiva Habitats, ou por serem decorrentes dos Planos Directores Municipais (PDM) e da inclusão na Reserva Ecológica Nacional (REN) e na Reserva Agrícola Nacional (RAN) das áreas onde se situam (Farinha *et al.*, 2001; MedWet, 2005 e Silva *et al.*, 2012).

3.8.3 Aspectos legais relativos à Conservação da Natureza

A Rede Fundamental de Conservação da Natureza (RFCN), criada pelo Decreto-Lei n.º 142/2008, é constituída pelas áreas integradas no Sistema Nacional de Áreas Classificadas (SNAC) e, também, pelas áreas de Reserva Ecológica Nacional, de Reserva Agrícola Nacional e de Domínio Público Hídrico (DL n.º 142/2008).

- RAN e REN

A RAN é o conjunto das áreas que apresentam maior aptidão para a actividade agrícola, em virtude das suas características agro-climáticas, geomorfológicas e pedológicas (DL n.º 73/2009). Foi estabelecida pelo Decreto-Lei n.º 196/89, de 14 de Junho, regendo-se actualmente pelo Decreto-Lei n.º 73/2009, de 31 de Março (DL n.º 73/2009). Esta restrição de utilidade pública de âmbito nacional destina-se a proteger o recurso solo nas áreas de maiores potencialidades agrícolas, garantindo a sua afectação à agricultura, de modo a contribuir para o pleno desenvolvimento da agricultura nacional e para o ordenamento do território (DL n.º 196/89). A RAN surge também, como um importante instrumento de ordenamento, relativamente à mitigação do risco de cheias, na medida em que grande parte dos solos integrados nesta classificação se encontra localizada em leitos de cheia (Silva, 2011).

Em relação à REN, trata-se de uma “estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e susceptibilidade perante riscos naturais, são objecto de protecção especial” (DL n.º 166/2008). Foi criada em 1983, pelo Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de Julho, com o objectivo de preservar a estrutura biofísica do território do País e contribuir para a ocupação e o uso sustentáveis do território (DL n.º 166/2008), sendo o seu actual regime jurídico definido pelo Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto. Abrange as áreas costeiras e ribeirinhas e águas interiores, áreas de infiltração máxima e zonas declivosas, incluindo também a delimitação das zonas ameaçadas por cheias, assim como as áreas de protecção das cabeceiras dos cursos de água e zonas de riscos de erosão elevados (Silva, 2011).

- Sistema Nacional de Áreas Classificadas (SNAC)

O SNAC é constituído pela Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP), pelas áreas classificadas que integram a Rede Natura 2000 e pelas demais áreas classificadas ao abrigo de compromissos internacionais assumidos pelo Estado Português, como é o caso das zonas húmidas listadas como Sítios Ramsar (REA, 2011 e Silva, *et al.*, 2012).

Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP):

A RNAP é composta pelas Áreas Protegidas (AP) classificadas ao abrigo do Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho, e a sua gestão é da responsabilidade do ICNF (Farinha, 2003). A classificação de uma AP visa conceder-lhe um estatuto legal de protecção adequado à manutenção da biodiversidade e dos serviços dos ecossistemas e do património geológico, bem como à valorização da paisagem (DL n.º 142/2008). De acordo com o referido Decreto-Lei, são designadas por AP:

“(...) as áreas terrestres e aquáticas interiores e as áreas marinhas em que a biodiversidade ou outras ocorrências naturais apresentem, pela sua raridade, valor científico, ecológico, social ou cénico, uma relevância especial que exija medidas específicas de conservação e gestão, em ordem a promover a gestão racional dos recursos naturais e a valorização do património natural e cultural, regulamentando as intervenções artificiais susceptíveis de as degradar”.

(Cfr. n.º 2 do artigo 10, DL n.º 142/2008)

As AP podem ser de âmbito Nacional, Regional ou Local, dependendo dos interesses que se procuram salvaguardar. As AP de âmbito nacional são geridas pela autoridade nacional de conservação da Natureza e podem ser classificadas numa destas tipologias: i) Parque Nacional; ii) Parque Natural; iii) Reserva Natural; iv) Paisagem Protegida e v) Monumento Natural (DL n.º 142/2008). Relativamente às AP regionais ou locais, são geridas pelo respectivo município ou por associações de municípios, e podem adoptar qualquer das tipologias referidas anteriormente, com excepção de Parque Nacional, devendo as mesmas ser acompanhadas da designação “regional” ou “local”, consoante o caso. A utilização da designação *regional* aplica-se quando está envolvido mais do que um município enquanto a denominação *local* utiliza-se quando se trata apenas de uma autarquia (DL n.º 142/2008 e ICNF, s.d.a).

Actualmente, segundo o REA, (2012), existem 1 Parque Nacional, 13 Parques Naturais, 11 Reservas Naturais, das quais duas são de âmbito local (Paul de Tornada e Estuário do Douro), 10 Paisagens Protegidas e 7 Monumentos Naturais.

Rede Natura 2000:

No caso português, a Rede Natura 2000 (ver secção 3.7) ocupa cerca de 20% do território continental, valor bastante superior ao da RNAP, 8%. No caso do Continente, esta Rede inclui 59 sítios, em muitos casos com sobreposição das duas categorias (Silva, s.d).

Segundo REA (2012), em Junho de 2012, a área total classificada no âmbito da RNAP e da Rede Natura 2000 correspondia a cerca de 22% do território de Portugal continental.

4 METODOLOGIA

4.1 Abordagem e Faseamento

A metodologia adoptada para o estudo da avaliação da capacidade depuradora do Paul de Tornada, assim como, do seu papel na minimização dos efeitos das cheias, repartiu-se em três fases distintas (Figura 4.1). Estas fases não foram estanques, sendo apenas indicativas e tendo sido desenvolvidas e articuladas simultaneamente.

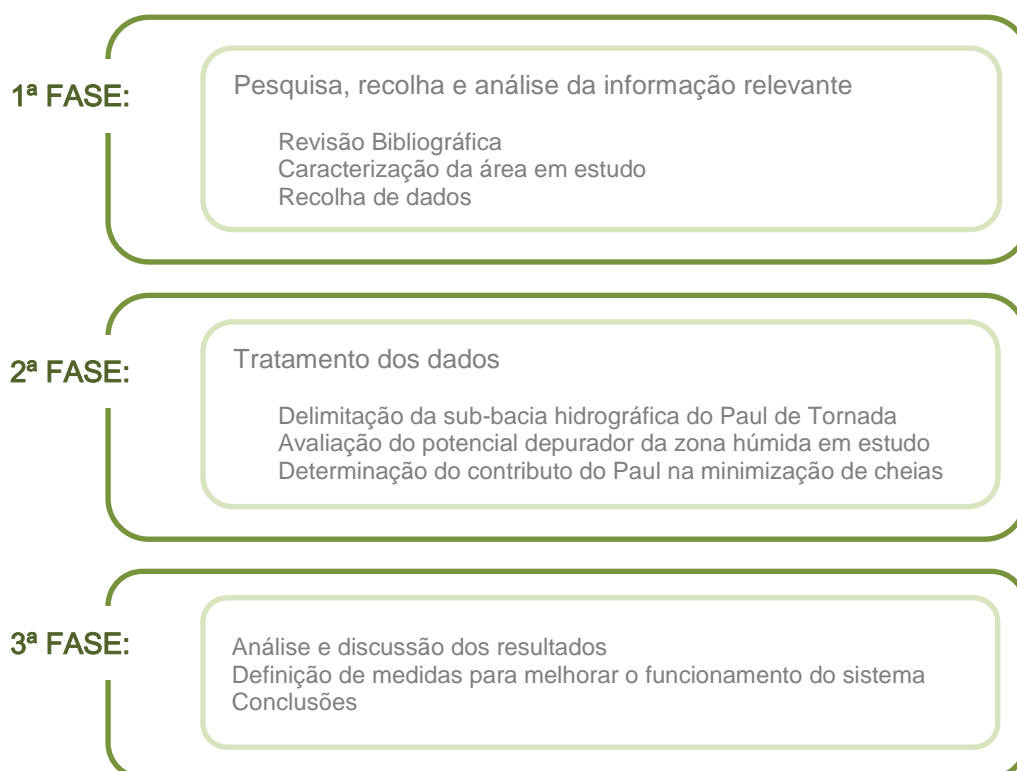


Figura 4.1 - Fases metodológicas

Inicialmente, numa primeira fase, procedeu-se à revisão bibliográfica sobre zonas húmidas e, em particular, sobre a área em estudo. Procurou-se identificar e recolher os dados disponíveis existentes sobre a qualidade da água do Paul, as cargas de poluição afluentes e outras informações relevantes para o estudo. Nesse sentido, foram contactadas diversas entidades (RNL-PT, CM das Caldas da Rainha, ICNF, ARHTejo e Águas do Oeste) e consultadas plataformas *online*, entre as quais o Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), Instituto da Água (INAG) e repositórios de várias instituições de ensino superior. Contudo, verificou-se a inexistência de dados publicados relativos à monitorização da água do Paul de Tornada. A maioria dos dados existentes refere-se, essencialmente, a aspectos relativos à conservação da Natureza, sendo evidente a falta de estudos relativamente a outro

tipo de informação sobre esta zona húmida.

Numa segunda fase, delimitou-se a sub-bacia hidrográfica do Paul de Tornada, na carta militar do Instituto Geográfico do Exército, à escala 1:25 000, e procedeu-se à determinação das suas características, que se encontram detalhadas no Quadro 5.1. Realizou-se ainda a caracterização do regime de precipitação da área em estudo. Nesta fase, efectuou-se, também, a avaliação do potencial depurador da zona húmida, assim como a determinação do seu contributo na minimização do efeito de eventuais cheias.

Posteriormente, numa terceira fase, analisaram-se os resultados obtidos, que permitiram retirar conclusões sobre os aspectos estudados. Efectuaram-se também sugestões de eventuais medidas que possam contribuir para melhorar o conhecimento sobre o sistema em estudo, bem como o seu funcionamento.

4.2 Processo metodológico e tratamento dos dados

Regime de precipitação

A caracterização do regime de precipitação da área em estudo foi efectuada com base nos registos de dados de precipitação total anual consultados através do SNIRH. Seleccionaram-se os postos udográficos de Alfeizerão e de Salir de Matos, uma vez que correspondem aos postos geograficamente mais próximos do Paul de Tornada (Figura 4.2), e que terão maior influência na bacia hidrográfica do Paul.

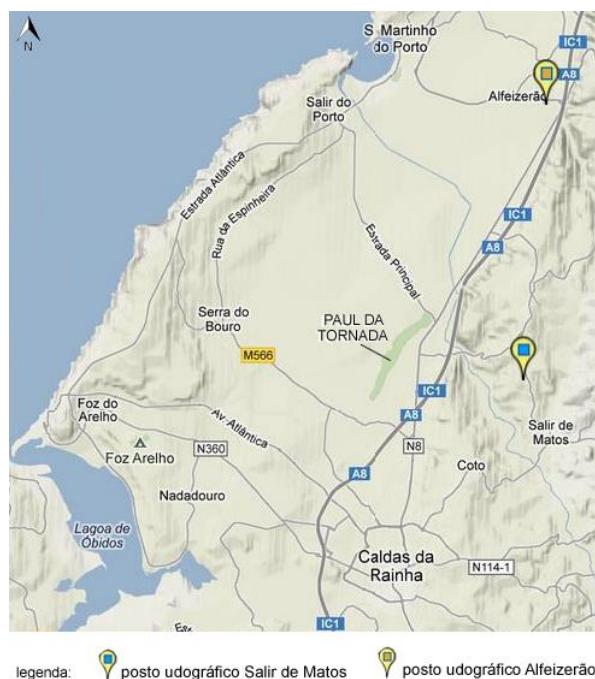


Figura 4.2 - Localização dos postos udográficos mais próximos do Paul de Tornada

Fonte: SNIRH, 2013

As séries de valores de *precipitação total anual* (PTA) relativas a cada um dos postos udográficos foram analisadas estatisticamente segundo a distribuição normal (Lei de Gauss). A qualidade do ajustamento da lei de probabilidade seleccionada, aplicada às séries de precipitação total anual, foi determinada, quer qualitativamente (por análise gráfica do comportamento das funções de distribuição empírica e teórica) quer quantitativamente, recorrendo-se ao teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov. Após a confirmação de que ambas as séries de precipitação são bem descritas pela função de distribuição normal, estimaram-se os valores de precipitação total anual para *ano muito seco*, *ano seco*, *ano médio*, *ano húmido* e *ano muito húmido*, para cada uma dessas séries.

Através da análise das características dos postos udográficos (Quadro 4.1) e dos resultados do tratamento estatístico, optou-se por considerar o posto de Alfeizerão para a caracterização do regime de precipitação e para o prosseguimento do presente trabalho, em detrimento do posto de Salir de Matos. A escolha recaiu no referido posto udográfico porque apesar de estar localizado a uma maior distância relativamente à área em estudo, encontra-se a uma cota mais próxima da cota do Paul, pelo que deverá ser mais representativo do regime de precipitação sobre essa zona húmida, uma vez que a altitude é um factor que influencia a precipitação.

Quadro 4.1 - Características dos posto udográficos na envolvente da área em estudo

Rede	Estação	Código	Bacia	Altitude (m)	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Distrito	Concelho
Meteorológica	Alfeizerão	16C/02G	Ribeiras do Oeste	13	39,498	9,096	Leiria	Alcobaça
Meteorológica	Salir de Matos	17C/05UG	Ribeiras do Oeste	91	34,442	9,102	Leiria	Caldas da Rainha

Fonte: SNIRH, 2012 (adaptado)

Os dados de precipitação utilizados relativos ao posto de Alfeizerão referem-se ao período temporal compreendido entre Outubro de 1979 e Setembro de 2005, à excepção do intervalo entre, Outubro de 2002 e Setembro de 2004 por, neste último período, não existirem dados disponíveis. Relativamente ao posto de Salir de Matos, os dados de precipitação correspondem ao período entre Outubro 1979 e Setembro de 2007.

Depuração de poluentes

O objectivo inicial do estudo sobre a capacidade de depuração do Paul de Tornada consistia na monitorização da qualidade da água, e posterior análise do comportamento do sistema, efectuando o balanço entre as concentrações de nutrientes registadas à entrada, no interior e à saída do Paul.

Em primeiro lugar, procurou-se identificar quais os dados disponíveis, com a finalidade de posteriormente os comparar com os resultados obtidos na monitorização, verificando deste modo a evolução da qualidade da água do Paul. Por questões de logística, não foi possível efectuar a monitorização. No entanto, foi elaborada uma sugestão de plano de amostragem, que é apresentada no Anexo II.

Dado a impossibilidade de efectuar a referida monitorização e a inexistência de dados publicados, foi efectuada uma abordagem teórica ao estudo do potencial de depuração de poluentes no Paul, através da apresentação de um caso de estudo elaborado por Abreu *et al.* (1999): *Importância das zonas húmidas no restabelecimento da qualidade da água – um estudo ecotecnológico no Paul de Arzila (Coimbra)* (ver secção 5.4.2). A selecção deste caso de estudo em específico, surgiu pelo facto de o ecossistema em causa (Paul de Arzila) apresentar características similares ao Paul de Tornada, quer em termos de localização, quer em termos de tipologia da zona húmida. Através do caso de estudo do Paul de Arzila, pretende-se retirar conclusões sobre o potencial depurador do Paul de Tornada.

Em relação, ao Paul de Tornada, efectuou-se a estimativa do tempo de retenção hidráulico, com base na Equação 4.1:

Equação 4.1

$$t = \frac{V}{Q}$$

onde,

t - tempo de retenção hidráulico (dias)

V - Volume (m³)

Q - Caudal médio diário (m³/dia)

O volume de água foi estimado através da área referente à zona alagada do paul (45 ha) e da sua profundidade. O valor da profundidade foi estimado (1,5 m), com base nos valores de profundidade do Paul durante o Inverno (entre 1,5 m e 3 m) e durante o Verão (entre 1 m e 1,50 m).

A determinação do caudal médio diário afluente ao Paul foi efectuada com base nos valores do volume anual correspondentes à totalidade da área da bacia hidrográfica do Paul de Tornada. Estes volumes foram obtidos com base nos valores da PTA, relativos ao posto udográfico de Alfeizerão no período temporal já anteriormente mencionado, os quais permitiram determinar o escoamento anual. Para tal, utilizou-se um coeficiente de escoamento tendo em conta o tipo de solo característico do Paul. O valor do coeficiente de escoamento utilizado foi de 0,35.

Estudo das cheias

No estudo das cheias da sub-bacia do Paul de Tornada não foi considerado o posto hidrométrico da Tornada. Tal facto deveu-se, por um lado, aos dados relativos ao nível hidrométrico instantâneo não abrangerem um intervalo temporal mínimo necessário para a concretização do estudo; e, por outro, à curva de vazão para o rio Tornada não estar disponível, impossibilitando o prosseguimento do estudo por esta via.

Deste modo, devido à ausência de informação hidrométrica suficiente sobre a bacia hidrográfica do rio Tornada, recorreu-se ao estudo das precipitações intensas de curta duração, para estudar o fenómeno das cheias, atendendo nomeadamente ao caudal de ponta e ao volume de escoamento de cheia. A determinação dos caudais de ponta foi efectuada com base nos dados da série de *precipitação máxima diária anual* (PMD) referente ao posto de Alfeizerão, consultada através do SNIRH. O período temporal caracterizado por esses dados, situa-se entre Dezembro 1979 e Outubro 2004, à excepção dos anos de 2002 e 2003.

Procedeu-se ao tratamento estatístico dos valores de PMD do posto de Alfeizerão, através da aplicação da distribuição assintótica de extremos do tipo I (Lei de Gumbel). O estudo da adaptabilidade realizou-se de forma qualitativa (através da análise gráfica do comportamento das funções de distribuição empírica e teórica) e quantitativa, recorrendo-se ao teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov, sendo que a hipótese de ajustamento não foi rejeitada. Posteriormente estimaram-se, por aplicação da referida função de distribuição, os valores de PMD na sub-bacia do Paul, para os períodos de retorno de 2, 10, 20, 50 e 100 anos.

Através dos valores de PMD estimados para os períodos de retorno atrás referidos, e com base nos mapas do ex-Serviço Meteorológico Nacional, foram obtidas as curvas de possibilidade udométrica para a área em estudo (Figura 5.25). Seguidamente discrimina-se o procedimento para a determinação das curvas mencionadas.

Inicialmente, através dos mapas do ex-Serviço Meteorológico Nacional, definiram-se os intervalos de precipitação, em horas, e os correspondentes valores do coeficiente de correcção, de acordo com a localização da bacia hidrográfica do Paul de Tornada (Quadro 4.2).

Quadro 4.2 - Intervalos de precipitação e valores do coeficiente de correcção para a bacia hidrográfica do Paul de Tornada

Tempo (horas)	Coeficiente de correcção
24	-
12	0,85
6	0,90
3	0,75
1	0,75

Fonte: ex-Serviço Meteorológico Nacional

Os valores de PMD estimados para os períodos de retorno referidos, correspondem ao período de tempo de 24h. Os valores de altura de precipitação correspondentes aos intervalos de tempo seguintes (12h, 6h, 3h e 1h), para cada período de retorno, foram estimados, através da multiplicação do respectivo coeficiente de correcção pelo valor de altura de precipitação correspondente ao tempo anterior (Quadro 4.3)

Quadro 4.3 - Altura de precipitação e duração da chuva para diferentes períodos de retorno

Tempo (h)	Coeficiente de correcção	Altura de precipitação, h (mm) para os diferentes períodos de retorno				
		2 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
24	-	40,94	53,09	57,73	63,74	68,24
12	0,85	34,80	45,13	49,07	54,18	58,01
6	0,90	31,32	40,61	44,17	48,76	52,21
3	0,75	23,49	30,46	33,12	36,57	39,15
1	0,75	17,62	22,85	24,84	27,43	29,37

Posteriormente, para cada período de retorno, calculou-se o logaritmo dos valores estimados de altura de precipitação e dos respectivos intervalos de tempo e traçaram-se os gráficos da regressão linear. Através da recta de regressão, $y=mx+b$, obtiveram-se os parâmetros a e n das curvas de possibilidade udométrica referentes a cada período de retorno (Quadro 4.4), em que, m coincide com n e a é determinado através da Equação 4.2:

Equação 4.2

$$a = 10^b$$

Quadro 4.4 - Valores de a , n e equação das curvas de possibilidade udométrica para os diferentes períodos de retorno

Período de retorno (anos)	a	n	Equação
2	17,90	0,2698	$h = 17,90 \times t^{0,2698}$
10	23,21		$h = 23,21 \times t^{0,2698}$
20	25,24		$h = 25,24 \times t^{0,2698}$
50	27,86		$h = 27,86 \times t^{0,2698}$
100	29,83		$h = 29,83 \times t^{0,2698}$

Nas curvas atrás apresentadas, o tempo de duração da chuvada deve ser expresso em horas, para que a altura de precipitação seja expressa em mm. Por fim, através das equações das curvas de possibilidade udométrica obtidas, determinou-se o valor da altura de precipitação correspondente aos intervalos de tempo de 1h a 24h, para os diferentes períodos de retorno (Quadro 4.5).

Quadro 4.5 - Alturas de precipitação para os diferentes tempos de retorno (1-24horas)

Tempo (h)	Altura de precipitação, h (mm) para os diferentes períodos de retorno				
	2 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
1	17,90	23,21	25,24	27,87	29,83
3	24,08	31,22	33,95	37,48	40,13
6	29,03	37,64	40,93	45,19	48,38
12	35,00	45,38	49,35	54,48	58,33
24	42,20	54,71	59,50	65,69	70,32

Com os dados que constam no Quadro 4.5 foram obtidas as representações gráficas das alturas de precipitação (mm) em função da duração da precipitação (horas), para cada período de retorno (Figura 4.3).

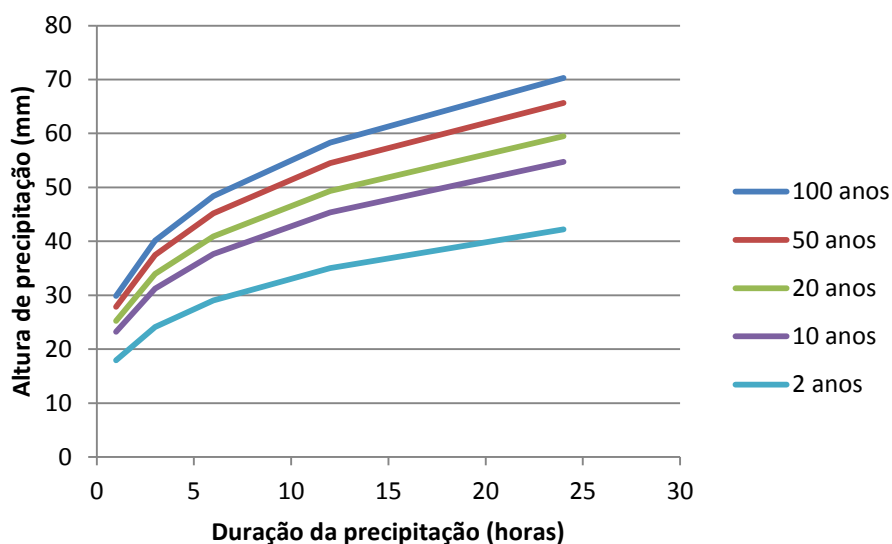


Figura 4.3 – Curvas de possibilidade udométrica PDM para diferentes períodos de retorno

Efectuou-se ainda a conversão dos valores de altura de precipitação (mm) em valores de intensidade de precipitação (mm/h) (Quadro 4.6), através da aplicação da Equação 3.3.

Quadro 4.6 - Intensidade média da precipitação para os diferentes períodos de retorno
(1-24 horas)

Tempo (h)	Intensidade média de precipitação, i (mm/h) para os diferentes períodos de retorno				
	2 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
1	17,90	23,21	25,24	27,87	29,83
3	8,03	10,41	11,32	12,49	13,38
6	4,84	6,27	6,82	7,53	8,06
12	2,92	3,78	4,11	4,54	4,86
24	1,76	2,28	2,48	2,74	2,93

Por fim, obteve-se o gráfico das curvas de possibilidade udométrica de intensidades de precipitação (mm/h) em função da duração da precipitação (horas) para cada período de retorno (Figura 5.25). Denominaram-se estas curvas abreviadamente por **curvas de possibilidade udométrica PDM**.

Foram ainda determinadas as curvas de possibilidade udométrica a partir do mapa das regiões pluviométricas propostas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e também, a partir dos parâmetros das respectivas curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF).

Através da consulta do mapa das regiões pluviométricas verificou-se que a bacia hidrográfica em estudo encontra-se inserida na região pluviométrica “A”. No Quadro 4.7 constam os parâmetros a e b definidos para essa região, considerando os diferentes períodos de retorno bem como, as equações das respectivas curvas de possibilidade udométrica.

Quadro 4.7 - Valores de a , b e equação das curvas de possibilidade udométrica para os diferentes períodos de retorno (LNEC)

Período de retorno (anos)	a	b	Equação
2	202,72	-0,577	$i = 202,72 \times t^{-0,577}$
10	290,68	-0,549	$i = 290,68 \times t^{-0,549}$
20	317,74	-0,538	$i = 317,74 \times t^{-0,538}$
50	349,54	-0,524	$i = 349,54 \times t^{-0,524}$
100	365,62	-0,508	$i = 365,62 \times t^{-0,508}$

A partir das equações das curvas de possibilidade udométrica obtidas para os diferentes períodos de retorno, determinaram-se os valores da intensidade média da precipitação para tempos de 1, 3, 6, 12 e 24 horas (Quadro 4.8). Em seguida, efectuaram-se os gráficos das intensidades de precipitação (mm/h) em função duração da precipitação (horas), para cada período de retorno (Figura 5.26). Denominaram-se estas curvas abreviadamente por **curvas de possibilidade udométrica LNEC**.

Quadro 4.8 - Intensidade média da precipitação para os diferentes períodos de retorno (LNEC)

Tempo (h)	Intensidade média de precipitação, i (mm/h) para os diferentes períodos de retorno				
	2 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
1	19,09	30,71	35,11	40,90	45,68
3	10,13	16,80	19,44	23,00	26,14
6	6,79	11,48	13,39	16,00	18,38
12	4,55	7,85	9,22	11,12	12,93
24	3,05	5,36	6,35	7,74	9,09

Por último, foram ainda determinadas as curvas de possibilidade udométrica recorrendo aos parâmetros das curvas IDF consultados em Brandão *et al.* (2001). Através da consulta do referido documento, optou-se por utilizar os dados referentes ao posto udográfico de S. Julião do Tojal (20C/01), por ser o posto com uma localização mais próxima da área de estudo. Os valores dos parâmetros utilizados são referentes a esse posto udográfico e dizem respeito ao trecho da curva do INAG válida para durações de chuvada entre 30 minutos e 6 horas. No Quadro 4.9, apresentam-se os valores dos parâmetros a e b considerados e a correspondente equação da curva de possibilidade udométrica, para os diferentes períodos de retorno.

Quadro 4.9 - Valores de a , b e equação das curvas de possibilidade udométrica para os diferentes períodos de retorno (INAG)

Período de retorno (anos)	a	b	Equação
2	205,93	-0,596	$i = 205,93 \times t^{-0,596}$
10	265,17	-0,525	$i = 265,17 \times t^{-0,525}$
20	292,01	-0,512	$i = 292,01 \times t^{-0,512}$
50	327,90	-0,5	$i = 327,90 \times t^{-0,5}$
100	355,32	-0,493	$i = 355,32 \times t^{-0,493}$

Os valores da intensidade média da precipitação para tempos de 1, 3, 6, 12 e 24 horas foram determinados a partir das equações das curvas de possibilidade udométrica obtidas para os diferentes períodos de retorno (Quadro 4.10). Efectuaram-se os gráficos das intensidades de precipitação (mm/h) em função duração da precipitação (horas), para cada período de retorno (Figura 5.27). Estas curvas foram abreviadamente designadas por **curvas de possibilidade udométrica INAG**.

Quadro 4.10 - Intensidade média da precipitação para os diferentes períodos de retorno (INAG)

Tempo (h)	Intensidade média de precipitação, i (mm/h) para os diferentes períodos de retorno				
	2 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
1	17,94	30,90	35,89	42,33	47,21
3	9,32	17,36	20,45	24,44	27,46
6	6,17	12,06	14,34	17,28	19,51
12	4,08	8,38	10,06	12,22	13,87
24	2,70	5,83	7,05	8,64	9,85

A partir das curvas de possibilidade udométrica determinadas (PMD, LNEC e INAG), determinou-se, recorrendo à Fórmula Racional (Equação 3.4), os caudais de ponta de cheia correspondentes aos períodos de retorno já anteriormente mencionados. Essa determinação foi efectuada tanto para chuvadas de duração igual ao tempo de concentração ($t=t_c$) como para chuvadas de duração igual a 2 vezes o tempo de concentração ($t=2t_c$) – Quadro 5.8 e Quadro 5.9.

Os valores do coeficiente da Fórmula Racional utilizados, encontram-se no Quadro 4.11, e são relativos a áreas com cobertura vegetal desenvolvida, em que a vegetação cobre 50% a 75% da área (Chow *et al.*, 1988). Note-se que o valor desse coeficiente, referente ao período de retorno de 20 anos, foi calculado por interpolação a partir dos valores do coeficiente da Fórmula Racional relativos aos períodos de retorno de 10 e 25 anos.

Quadro 4.11 – Coeficientes da fórmula racional para diferentes períodos de retorno

Período de retorno (anos)	Coeficiente da Fórmula Racional
2	0,33
10	0,38
20	0,41 (*)
25	0,42
50	0,45
100	0,49

Fonte: Chow *et al.* (1988); (*) valor determinado por interpolação

Procedeu-se, também, ao traçado do andamento aproximado dos hidrogramas de cheia correspondentes à ocorrência do caudal de ponta, para as curvas de possibilidade udométrica PMD, LNEC e INAG, referentes às situações em que $t=t_c$ e $t=2t_c$ (Figura 5.28). Foram também determinados os respectivos volumes de escoamento, através da Equação 3.8 ou Equação 3.9, conforme o caso.

5 CASO DE ESTUDO – PAUL DE TORNADA

5.1 Caracterização da área de estudo

5.1.1 Localização e descrição geral

O Paul de Tornada é uma zona húmida de água doce, que se situa na freguesia de Tornada, a cerca de 5 km a norte da cidade das Caldas da Rainha (sede de concelho), no distrito de Leiria (Figura 5.1) (CM Caldas da Rainha, 2009). Administrativamente integra a região de Lisboa e Vale do Tejo (NUT II) e a sub-região do Oeste (NUT III). As suas principais acessibilidades são a linha férrea do oeste e as auto-estradas A8 (Lisboa/Leiria) e A15 (Óbidos/Santarém) (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).



Figura 5.1 - Enquadramento geográfico do Paul de Tornada no território nacional

Fonte: Google imagens, 2012 (adaptado), foto de Gonçalo Elias

Esta zona húmida constitui a segunda Reserva Natural Local no país e a primeira a ser gerida por Organizações Não Governamentais de Ambiente (ONGA's), sendo desde 2009, reconhecida ao abrigo da legislação nacional como Reserva Natural Local do Paul de Tornada (RNL-PT). A RNL-PT é uma das últimas áreas apaludadas existentes na região, desempenhando um papel importante não só a nível regional mas também nacional relativamente a aves migradoras (Martins e Caetano, 1992). Na região existem ainda, outras zonas húmidas relevantes, nomeadamente a Lagoa de Óbidos e a Baía de São Martinho do Porto, ambas zonas costeiras e de água salgada (CM de Óbidos, 2005).



Figura 5.2 - Paul de Tornada

Fonte: Google imagens, 2012

Segundo o sistema de classificação de ecossistemas de zonas húmidas adoptado pela Convenção de Ramsar, o Paul de Tornada é considerado uma zona húmida interior do tipo palustre de água doce permanente (Farinha e Trindade, 1994).

Este sistema palustre, constituído por cerca de 45 ha de terrenos baixos e planos (Associação PATO, s.d.), apresenta uma configuração alongada, quase rectangular, com o eixo maior orientado segundo a direcção Nordeste/Sudoeste (Martins e Caetano, 1992).

É composto por uma zona central permanentemente alagada (cerca de 25 ha), com algumas áreas de água livre que apresentam maior profundidade, formando pequenas lagoas, que se encontram rodeadas por vegetação característica deste tipo de ecossistema, como o bunho e o caniço (Figura 5.3) (Martins e Caetano, 1992). A área circundante a esta zona permanentemente alagada é composta por terrenos alagadiços, que ficam cobertos de água apenas em períodos de maior pluviosidade (Gabriel e Martins, 1989).



Figura 5.3 - Vista aérea do Paul de Tornada

Fonte: Associação PATO, s.d.

O paul é drenado por três valas: a Vala do Guarda-Mato (a Este), a Vala da Palhagueira (a Oeste) e a Vala do Meio, que atravessa a zona central deste sistema (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). A zona envolvente da RNL-PT é composta por terrenos baixos de encostas suaves. A noroeste, junto da localidade de Reguengo, predominam áreas agrícolas e florestadas com algumas edificações dispersas (Figura 5.4), não existindo acesso ao paul para viaturas (Martins e Caetano, 1992). No lado Este do paul, situa-se a localidade de Tornada, que é atravessada pela Estrada Nacional n.º 8. A Leste dessa via rodoviária, os terrenos

apresentam um relevo mais acentuado (100 m a 120 m de cota), que correspondem aos limites do vale tifónico, destacando-se o monte de S. Domingos que atinge uma altitude de 137 m, cerca de 130 m acima do da cota do Paul (Gabriel e Martins, 1989 e Martins e Caetano, 1992).

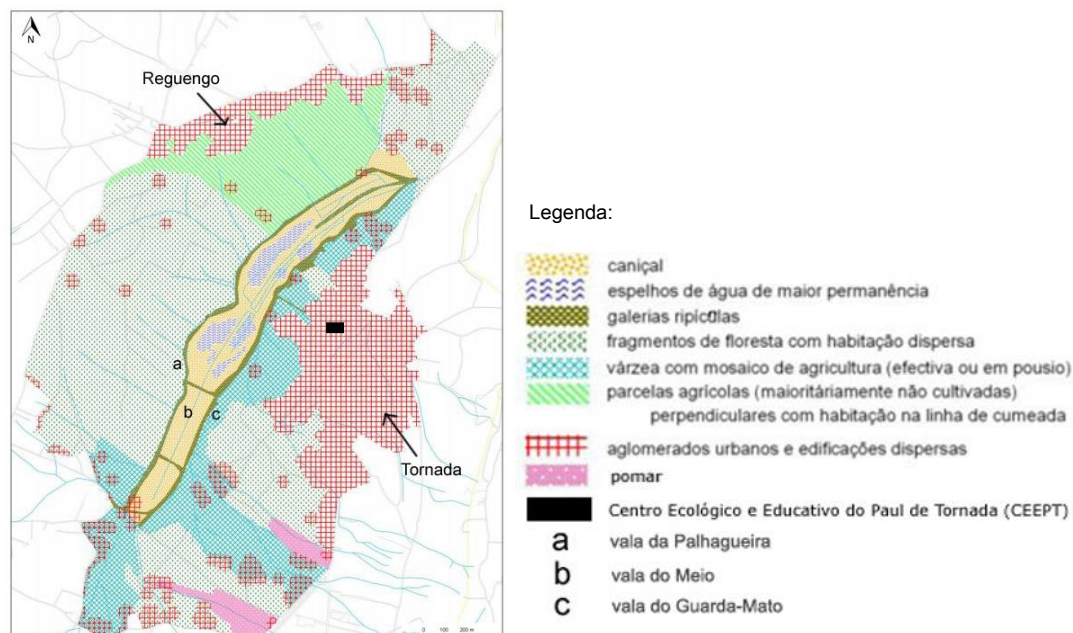


Figura 5.4 - Ocupação do solo no Paul de Tornada e na área envolvente

Fonte: CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 (adaptado)

Embora actualmente não haja actividade agrícola dentro dos limites da RNL-PT, em tempos, nesta propriedade, cultivou-se arroz, produziu-se vinho nos terrenos marginais e procedeu-se à moagem de cereais (Martins e Caetano, 1992 e MedWet, 2005). Presentemente, ainda se conservam vestígios dessas actividades, como uma antiga eira e a casa de moagem que foi recuperada através de um projecto da *Associação de Defesa do Paul de Tornada*³ (PATO) em parceria com o *Grupo de Estudos de Ordenamento do Território e Ambiente*⁴ (GEOTA), com o objectivo de criar o Centro Ecológico e Educativo do Paul de Tornada (CEEPT) (Figura 5.5). A concretização deste projecto passou não só pelo financiamento comunitário, no âmbito do Programa Ambiente, como também pelo apoio da Câmara Municipal (CM) das Caldas da Rainha e do ex-ICNB (Associação PATO, s.d. e Associação PATO, 2004).

O CEET, inaugurado no ano 2000, constitui uma infra-estrutura inovadora na região, permitindo potenciar a actividade de sensibilização, formação e participação da comunidade em matéria de ambiente e educação ambiental. É dotado de um pequeno laboratório de apoio e de

³ É uma ONGA, fundada em 1988, que tem como objectivo a preservação e recuperação ecológica do Paul de Tornada e que procura contribuir para uma maior sensibilização e consciencialização da população e das autoridades locais, nacionais e internacionais. Tem efectuado estudos de caracterização e inventariação de espécies do Paul e de outros espaços naturais na região, como a Lagoa de Óbidos (Associação PATO, s.d.)

⁴ É uma ONGA de âmbito nacional, constituída legalmente em 1986, embora a sua existência enquanto grupo de reflexão e educação na área do ambiente remonte a 1981 (GEOTA, s.d.).

camaratas, oferecendo oportunidade de alojamento a investigadores (Associação PATO, 2004 e Ramsar e Wetlands International, 2001). A gestão do Centro é efectuada conjuntamente pelas associações PATO e GEOTA, que procuram transformar este território num espaço de excelência para a defesa, estudo, divulgação e aprendizagem colectiva (Associação PATO, s.d. e CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).



Figura 5.5 - Centro Ecológico Educativo do Paul de Tornada (CEEPT)

Com o apoio do GEOTA e do ICNF, a associação PATO tem desenvolvido a sua actividade em torno do Paul da Tornada, ocupando-se da sua protecção, do seu estudo e da sua divulgação (MedWet, 2005), tendo conseguido a valorização e reconhecimento do Paul como Sítio Ramsar, em 2001, e como Reserva Natural de âmbito local, em 2009 (GEOTA, s.d.).

A área do Paul de Tornada é constituída por terrenos de propriedade privada, que pertencem integralmente a particulares, e que se encontram desde 1992 arrendados pelo GEOTA (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010), no âmbito de um projecto conjunto com a associação PATO, o ICNF e a CM das Caldas da Rainha (Farinha *et al.*, 2001).

O principal factor de perturbação nesta zona húmida é a poluição proveniente de efluentes de origem urbana, industrial e agrícola (CM das Caldas da Rainha, 2009; CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010; Farinha e Trindade, 1994 e Martins e Caetano, 1992). Também, a expansão urbana na área envolvente é potencialmente perigosa para o equilíbrio ecológico do Paul (MedWet, 2005 e Ramsar e Wetlands International, 2001). A caça furtiva, nomeadamente de patos, e a captura ilegal de aves constituíam outra questão problemática. No entanto, embora estas situações ainda persistam, a presença da associação PATO na RNL-PT originou um nítido decréscimo destas ocorrências (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e Ramsar e Wetlands International, 2001).

5.1.2 Biodiversidade

As características singulares do Paul de Tornada e a variedade de habitats que possui, assim como as comunidades biológicas que suporta, fazem desta zona húmida um ecossistema com elevada biodiversidade. O Paul, conjuntamente com a área envolvente (zonas florestadas e agricultadas), desempenham funções ecológicas importantes, que contribuem para o equilíbrio

e biodiversidade local (ICNF, s.d. e MedWet, 2005).

A fauna e flora da RNL-PT apresentam uma importância considerável, sendo que grande parte do seu conhecimento provém do trabalho de Martins e Gabriel (1988) (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). Alguns outros trabalhos têm surgido, contribuindo para um maior conhecimento da área e da sua riqueza específica. A par destes estudos, nos últimos anos, têm sido ainda efectuadas, sistematicamente, diversas campanhas de anilhagem e várias acções de campo abertas ao público ou em colaboração com escolas para se proceder à identificação de novas espécies na área (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). Actualmente, encontram-se registadas 145 espécies de aves, 18 de mamíferos, 8 de anfíbios, 12 de répteis, 6 de peixes, e mais de uma dezena de invertebrados e 267 de flora (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

Fauna

A RNL-PT apresenta grande diversidade em termos fauna,-albergando um elevado número de espécies, algumas com estatuto de protecção ao abrigo de convenções internacionais e/ou pertencentes à lista de espécies ameaçadas do Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (MedWet, 2005). É de salientar que algumas espécies existentes nesta zona húmida, que outrora eram comuns, registaram uma diminuição do seu número de efectivos e da sua área de distribuição, vítimas de perseguição e destruição do seu habitat (Associação PATO, s.d. e Martins e Caetano, 1992). Em termos faunísticos, o Paul assume elevada importância a nível ornitológico sobretudo, para diversas aves de caníçal, constituindo uma área de apoio para aves migradoras (Martins e Caetano, 1992 e Ramsar e Wetlands International, 2001).

Aves

Este espaço palustre apresenta grande diversidade de avifauna, constituindo um local de residência anual para várias espécies, fornecendo-lhes abrigo, alimentação e local de nidificação. O Pato-real (*Anas platyrhynchos*), o Galeirão (*Fulica atra*), a Garça-cinzenta (*Ardea cinerea*) e o Guarda-rios (*Alcedo atthis*) (Figura 5.6) são alguns exemplos de espécies residentes (Associação PATO, 2004).

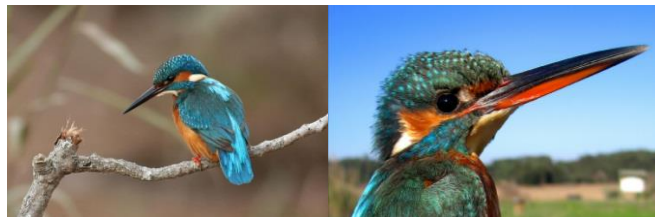


Figura 5.6 - Guarda-rios (*Alcedo atthis*)

Fonte: Associação PATO, s.d.; Flickr (Foto: Pedro Henriques), 2006

Esta zona húmida é também muito importante para diversas espécies de aves que a utilizam apenas durante um determinado período do ano (espécies invernantes ou estivais) ou só por alguns dias, durante as migrações, como ponto de apoio para repouso e alimentação (espécies migradoras de passagem) (Associação PATO, s.d. e Ramsar e Wetlands International, 2001), como é o caso do Pisco-de-peito-azul (*Luscinia svecica*), uma espécie rara em Portugal (Associação PATO, s.d. e MedWet, 2005). De entre as espécies estivais, destaca-se o Garçote (*Ixobrychus minutus*) e a Garça-vermelha (*Ardea purpurea*), duas espécies pouco comuns e de distribuição localizada no nosso país (Associação PATO, 2004 e MedWet, 2005).

A presença de espécies exóticas é também visível na área em estudo, entre as quais se encontra o Bico-de-lacre (*Estrilda astrild*) e o Tecelão-de-cabeça-preta (*Ploceus melanocephalus*), ambas as espécies já nidificantes neste local (Associação PATO, s.d.).

De acordo com o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal, a Garça-vermelha (*Ardea purpurea*), a Felosa-aquática (*Acrocephalus paludicola*) e o Goraz (*Nycticorax nycticorax*), estão classificadas como *Em Perigo* (EN), enquanto a Gaivina-dos-pauis (*Chlidonias hybrida*) está classificada como *Criticamente em Perigo* (CR). Com classificação de Vulnerável (VU) estão 9 espécies: Águia-sapeira (*Circus aeruginosus*), Falcão-peregrino (*Falco peregrinus*), Felosa-unicolor (*Locustella luscinioides*), Ógea (*Falco subbuteo*), Garçote (*Ixobrychus minutus*), Açor (*Accipiter gentilis*), Maçarico-das-rochas (*Actitis hypoleucos*), Noitibó-europeu (*Caprimulgus europaeus*) e Camão (*Porphyrio porphyrio*) (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

Anfíbios

As rãs-comuns (*Rana perezi*), as relas (*Hyla arborea*) (Figura 5.7) e os sapos (*Bufo bufo*) são os anfíbios mais comuns no paul (MedWet, 2005). É de salientar, a presença do Tritão-de-ventre-laranja (*Triturus boscai*) e do Discoglossus (*Discoglossus galganoi*), dois endemismos ibéricos (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

No Paul foram identificadas oito espécies de anfíbios: três espécies estão incluídas no Anexo III da Convenção de Berna e quatro espécies encontram-se ao abrigo da Directiva Habitats (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).



Figura 5.7 - Relas (*Hyla arborea*)

Fonte: Associação PATO, s.d. (Foto: César Capinha)

Peixes

Relativamente à ictiofauna, a sua inventariação é muito insipiente. O Ruivaco (*Chondrostoma macrolepidotus*), a Carpa (*Cyprinus carpio*) e o Pimpão (*Carassius auratus*) são algumas das espécies presentes nesta zona húmida. Também, se podem encontrar espécies do género Rutilus e duas espécies migradoras, a Taíinha-fataça (*Liza ramada*) e a enguia (*Anguilla anguilla*), que utilizam as águas doces do paul nas fases juvenis do seu ciclo de vida, acabando por migrar para o mar para se reproduzirem (Associação PATO, 2004 e MedWet, 2005).

Répteis

As 12 espécies de répteis identificadas no Paul de Tornada estão todas contempladas pela Convenção de Berna (oito incluídas no Anexo III e quatro no Anexo II). Ao abrigo da Directiva Habitats encontram-se cinco espécies (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

É de destacar a presença do Cágado-de-carapaça-estriada (*Emys orbicularis*), espécie outrora comum no Paul, e que se encontra classificada como *Em Perigo* (EN), de acordo com o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal, estando em regressão em Portugal e na Europa. Destaque também, para o Lagarto-de-água (*Lacerta schreiberi*), um endemismo ibérico, que se encontra protegido pela Directiva Habitats e pela Convenção de Berna (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e MedWet, 2005).

Mamíferos

Foram registadas 18 espécies de mamíferos, algumas com particular interesse em termos de conservação da natureza. É de destacar, a ocorrência da Lontra (*Lutra lutra*), símbolo desta reserva natural, da raposa (*Vulpes vulpes*) assim como, da Doninha (*Mustela nivalis*) e do Texugo (*Meles meles*), sendo que estas duas últimas espécies eram antigamente bastantes comuns no Paul tendo vindo a diminuir drasticamente o seu número de efectivos e a sua área de distribuição (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010, ICNF, s.d. e MedWet, 2005). Salienta-se a presença de dois endemismos ibéricos, o Musaranho-de-dentes-Vermelhos (*Sorex granarius*) e o Rato-das-Hortas (*Mus spretus*) (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). Foram também já observados javalis (*Sus scrofa*) e alguns morcegos (ordem Chiroptera) (Associação PATO, 2004).

De acordo com o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal, uma espécie está classificada como *Informação Insuficiente* (DD). Nove espécies estão abrangidas pela Convenção de Berna, seis das quais incluídas no Anexo III e três no Anexo II. Ao abrigo da Directiva Habitats estão cinco espécies, três pertencentes ao Anexo B-V e duas ao Anexo B-IV (Associação PATO, 2004 e CM Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

Invertebrados

Em relação aos invertebrados, apesar de ainda não terem sido objecto de estudo, verifica-se que a sua diversidade é elevada (MedWet, 2005).

Os insectos são particularmente abundantes, em especial durante a estação quente, e constituem um elemento de grande importância na ecologia do Paul. Com a chegada do Outono, a quantidade de insectos diminui drasticamente. Contudo, a sua falta como fonte alimentar é, em parte, compensada pelo amadurecimento das sementes do caniço e de outras espécies vegetais hidrófilas (MedWet, 2005).

Nos campos marginais da zona permanentemente alagada, é frequente observarem-se libélulas, gafanhotos, borboletas, mosquitos e várias espécies de aranhas. Estes registos, embora vulgares, não deixam de ter importância, uma vez que estas espécies são ligações essenciais aos mais baixos níveis da cadeia alimentar, contribuindo para a manutenção da biodiversidade, nomeadamente para a sustentação de algumas populações de espécies mais ameaçadas (Martins e Caetano, 1992).

Flora e Vegetação

A flora no paul está representada por espécies características das zonas húmidas semelhantes às que se desenvolvem noutros meios dulçaquícolas. É possível observar comunidades de macrófitas flutuantes, comunidades submersas enraizadas (ou não) no fundo, comunidades de margem parcialmente submersas e comunidades ripícolas (MedWet, 2005). Verifica-se também a presença de espécies vegetais exóticas infestantes (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e Pereira *et al.*, 2009).

A riqueza florística do Paul de Tornada e da zona envolvente evidencia-se na variedade de espécies identificadas. Martins e Gabriel (1987) referenciaram 267 espécies pertencentes a 69 famílias de plantas vasculares (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). Embora as espécies identificadas sejam vulgares, uma inventariação mais detalhada poderá relevar algumas espécies ameaçadas ou com maior interesse botânico (Martins e Caetano, 1992 e MedWet, 2005). No entanto, estas espécies vulgares são componentes essenciais dos diversos habitats que se encontram no local (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010) e constituem o suporte de toda a cadeia trófica existente (Martins e Caetano, 1992), proporcionando também às diferentes comunidades de seres vivos, alimento, refúgio e sítio de nidificação.

Zona alagada e semi-alagada

As espécies de plantas aquáticas que se encontram na zona alagada estão adaptadas a condições de inundação permanente, sendo que nestes locais a diversidade específica é menor devido a condições de "stress" a que as espécies estão sujeitas (CM das Caldas da

Rainha *et al.*, 2010).

Nas pequenas lagoas que se formam no centro do paul, onde as águas são mais profundas, as espécies mais abundantes são o *Polygonum amphibium* e *Ceratophyllum demersum* (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010; Martins e Caetano, 1992 e MedWet, 2005). A delimitar as lagoas surgem maciços de bunho (*Scirpus lacustris*) (MedWet, 2005), enquanto nas águas com menor profundidade desenvolvem-se abundantemente várias espargináceas (*Sparganium erectum*) e ciperáceas (*Cyperus* sp., *Scirpus* sp., *Eleocharis* sp. e *Carex* sp.) (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010; Martins e Caetano, 1992 e MedWet, 2005). Em alguns locais mais abrigados da zona alagada e das valas, formam-se extensos tapetes de *Azolla caroliniana* e *Lemna minor* (Figura 5.8) que cobrem a superfície de água, durante as épocas favoráveis ao seu desenvolvimento (MedWet, 2005).



Figura 5.8 - *Lemna minor*

As áreas semi-alagadas encontram-se densamente cobertas por caniçais (*Phragmites australis*), que constituem a mancha de vegetação dominante no paul, e que apresentam elevada importância como local para a alimentação e refúgio da avifauna (Figura 5.9). Em certos locais, o caniço serve de suporte a *Calistegia septum*, uma trepadeira comum (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010; Martins e Caetano, 1992 e MedWet, 2005).



Figura 5.9 - Caniço (*Phragmites australis*)

Fonte: Google imagens, 2012

A diversidade algal foi estudada por Leite (2001) tendo sido identificados 86 taxa algais, entre os quais *Chlorophyta*, *Euglenophyta*, *Cyanophyta* e *Rhodophyta* (MedWet, 2005). Salienta-se a presença predominante de espécies de *Euglenophyta*, grupo habitualmente presente em águas

eutrofizadas, o que pode ser indicador de poluição das águas do Paul (MedWet, 2005).

Terrenos alagadiços

Os terrenos alagadiços que se encontram em torno da zona permanentemente alagada ficam cobertos de água apenas durante a época das chuvas. Durante este período, em que os terrenos ficam inundados, desenvolvendo-se grandes quantidades de ranunculáceas, nomeadamente, Ranúnculo-aquático (*Ranunculus peltatus*), Ranúnculo-rasteiro (*Ranunculus repens*) e Ranúnculo-bulboso (*Ranunculus bulbosis*). Com o início da Primavera, surgem rebentos de caniço nestes terrenos e é possível, encontrar à superfície da água, a urticulária (*Urticularia australis*) (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e MedWet, 2005).

À medida que os terrenos enxugam, várias espécies de compostas (Chamaemelum sp., Cichorium sp., Sonchus sp.) vão surgindo, assim como, malváceas (Lavatera sp., Althaea sp.) e crucíferas (Cardamine sp., Brassica sp.) (MedWet, 2005).

Junto às valas, em locais temporariamente alagados, crescem lírios-dos-pântanos (*Iris pseudacorus*), tabúas (*Typha latifolia* e *Typha angustifolia*) (Figura 5.10) e juncos (*Juncus maritimus*) (Associação PATO, s.d.).



Figura 5.10 - Tábua (*Typha* sp)

Fonte: Google imagens, 2012

Valas

As valas são delimitadas em toda a sua extensão por socalcos cobertos com canas (*Arundo plinii*), encontrando-se também algumas silvas (*Rubus ulmifolium*), marmeleiros (*Cydonia oblonga*) e pilriteiros (*Crataegus monogyna*). Existem, ainda dispersas espécies arbóreas como os salgueiros (*Salix alba* e *Salix atrocinerea*) e os choupos (*Populus nigra*) (MedWet, 2005).

Zona envolvente

Em torno do Paul, existem terrenos florestados e cultivados e a composição florística varia conforme as características do solo e o tipo de cultura praticado (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

A maioria dos terrenos florestados é ocupada com pinheiros bravos (*Pinus pinaster Aiton*) e alguns eucaliptos (*Eucalyptus globulus Labill*) dispersos. O estrato subarbustivo é constituído,

maioritariamente por urzes (*Calluna* sp. e *Erica* sp.), tojo (*Ulex* sp.) e estevas (*Cistus* sp.). Existem ainda pequenas matas de salgueiros (*Salix atrocinerea*) e choupos (*Populus nigra*), alguns pinhais mansos (*Pinus pinea*) e pequenos olivais (*Olea europaea*). Em certas zonas, ocorrem também alguns carvalhos cerquinhos (*Quercus faginea*), carrascos (*Quercus coccifera*), loureiros (*Laurus nobilis*), canas (*Arundo donax*) e figueiras (*Ficus carica*) (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010; Martins e Caetano, 1992 e MedWet, 2005).

Nas imediações do Paul existem algumas vinhas e nos terrenos situados nas encostas suaves cultiva-se, essencialmente, trigo, aveia e milho. Existem também culturas de batata, abóbora, melão e batata-doce e outros produtos hortícolas. A agricultura praticada é pouco intensiva e a rega da maior parte das culturas é efectuada com água das valas laterais do paul, através de represas artesanais construídas pelos agricultores (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

5.1.3 Clima

A localização geográfica do concelho das Caldas da Rainha, junto ao oceano, a direcção dos ventos dominantes dos quadrantes do mar e a orografia da região, nomeadamente a proximidade da Serra dos Candeeiros, são os principais factores que influenciam o clima desta região (Martins e Caetano, 1992).

O concelho apresenta um clima não só com características mediterrâneas (uma estação fria relativamente temperada com chuvas abundantes; e uma estação quente e seca) mas também com influência atlântica, que é marcada por nebulosidade relativamente elevada, nevoeiros frequentes e temperaturas moderadas (Martins e Caetano, 1992 e PDM das Caldas da Rainha, 2009) A zona litoral apresenta Verões frescos e Invernos tépidos, enquanto na zona mais interior do concelho os Verões e Invernos são moderados (PDM das Caldas da Rainha, 2009).

A temperatura média anual e a temperatura média do mês mais quente são respectivamente 15,5° C e 22° C (CM das Caldas da Rainha, s.d.) sendo que a humidade relativa média do ar varia entre 66% e 81% (PDM das Caldas da Rainha, 2009). Verifica-se também a ocorrência de nevoeiro ao longo de todo o ano e o aparecimento de geada em noites particularmente frias, nomeadamente durante os meses de Dezembro e Janeiro (PDM das Caldas da Rainha, 2009).

A precipitação média anual é da ordem dos 774 mm, sendo que 2000 foi o ano mais húmido com 1213 mm, e 2004 o ano mais seco, com 278 mm (estimativa dos dados da rede udográfica/udométrica de Alfeizerão – período correspondente de Outubro de 1979 a Setembro de 2005, à excepção do intervalo entre Outubro de 2002 e Setembro de 2004).

Relativamente aos ventos, estes são predominantes do quadrante Norte, ocorrendo com maior intensidade nas estações da Primavera, Verão e Outono. No final do Outono e durante o Inverno, os ventos que predominam na região são os do quadrante Sudeste, embora acompanhados pelos ventos do quadrante Norte. O clima desta região é suavizado pelos

ventos dos quadrantes do mar, que tornam-no mais fresco no Verão e menos frio no Inverno (Martins e Caetano, 1992).

O Paul de Tornada situa-se numa zona que proporciona condições de microclima. Sofre influência nitidamente atlântica com nevoeiros frequentes e com precipitações entre 775 mm e 800 mm, sendo uma das áreas do concelho com menores níveis de pluviosidade. A topografia acentua as condições de microclima originando uma amplitude térmica maior em relação ao espaço envolvente, sendo que a temperatura do mês mais frio pode atingir 0°C e a temperatura do mês mais quente pode ascender aos 40°C (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

5.1.4 Geologia e geomorfologia

O concelho de Caldas da Rainha encontra-se integrado em quatro grandes unidades geomorfológicas: a Serra Litoral, a Lagoa de Óbidos, a Plataforma Litoral e a Depressão Diapírica (Figura 5.11), que ocupam respectivamente, 6,8%, 1,5%, 68,6% e 23,1% do território concelhio (PDM das Caldas da Rainha, 2009).

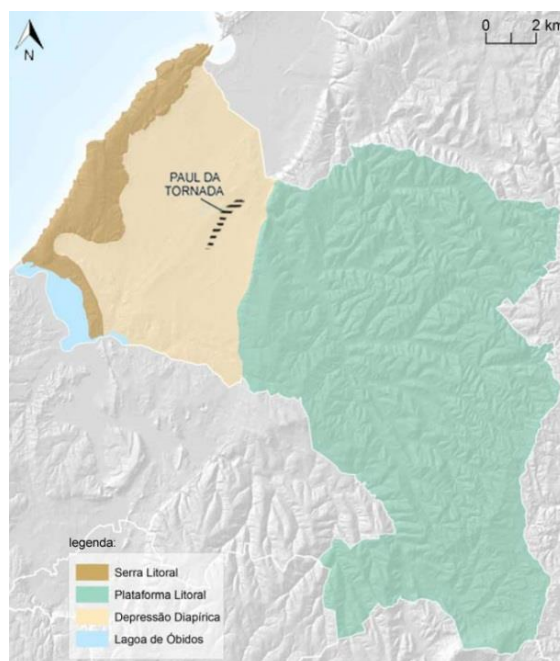


Figura 5.11 - Unidades geomorfológicas do concelho das Caldas da Rainha

Fonte: PDM Caldas da Rainha, 2009 (adaptado)

A depressão diapírica, onde se localiza o Paul de Tornada, está associada ao maior diapiro que aflora na Orla Mesoceno-zóica Ocidental Portuguesa (Associação PATO, 2004). A origem deste diapiro deve-se à presença de formações evaporíticas da base do Jurássico, que ascenderam para níveis mais superficiais, deformando e perfurando a cobertura sedimentar (Almeida, *et al.*, 2000).

Segundo a interpretação clássica, a formação da depressão de Caldas da Rainha deveu-se à erosão fluvial do complexo evaporítico, na qual depois se depositou o complexo detrítico pliocénico. Contudo, actualmente admite-se que a depressão diapírica corresponde a um fosso tectónico limitado por falhas inversas, que se terá desenvolvido posteriormente à deposição das formações plio-pleistocénicas que a colmatam parcialmente (Almeida, *et al.*, 2000 e PDM das Caldas da Rainha, 2009). A preservação dos depósitos detríticos pliocénicos no interior da depressão é justificada por uma situação de relativo abrigo face à erosão, em contraste com o que sucede nas áreas envolventes, situadas em posição topográfica mais elevada e, portanto, mais expostas aos agentes erosivos (PDM das Caldas da Rainha, 2009). O facto das espessuras, tanto dos depósitos marinhos pliocénicos, como das areias continentais serem semelhantes às que se observam na região de Leiria-Pombal, fora dos vales tifónicos, constitui um argumento a favor de uma evolução posterior (Almeida, *et al.*, 2000).

O interior da depressão diapírica configura uma área aplanada, apenas com algumas colinas isoladas, como é o caso em Reguengo e Chão da Parada, compondo uma estrutura topográfica com altitudes que raramente ascendem aos 25 metros (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e PDM das Caldas da Rainha, 2009). O fundo da depressão é constituído por “Margas da Dagorda”, que se encontram cobertas por areias marinhas fossilíferas do Pliocénico superior, a que se sobrepõem areias continentais que, em alguns locais, estão cobertas por aluviões modernas (ARHTejo, 2011 e CM Caldas da Rainha *et al.*, 2010). A depressão é marginada por duas vertentes: uma posicionada a Este, constituída por calcários e arenitos do Jurássico Superior e a outra a Poente que apresenta camadas de calcários do Jurássico Médio (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

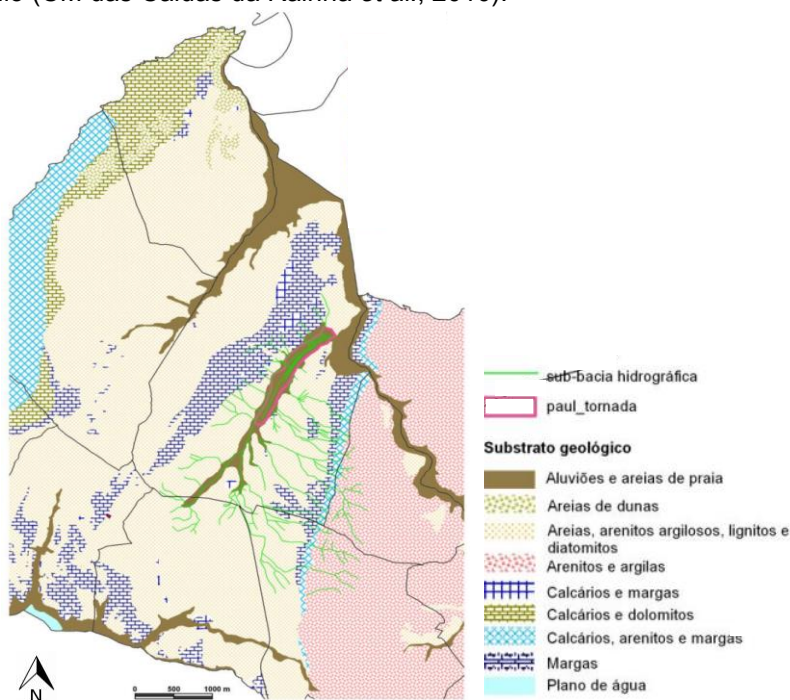


Figura 5.12 - Extracto da carta geológica da área da depressão diapírica

Fonte: CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010

Apesar da importância da tectónica na justificação do aspecto da morfologia da depressão diapírica, o relevo actual resulta, em grande parte, da erosão diferencial das “Margas de Dagorda” e dos calcários e grés do Jurássico Médio e Superior. No interior da área deprimida, a erosão diferencial também actuou, resultando na individualização de colinas isoladas, que correspondem a afloramentos de calcários margosos e calcários dolomíticos. Estas rochas oferecem grande resistência à erosão, comparativamente com os terrenos argilosos e margosos que as enquadram, e por isso tendem a ficar em saliência, formando as colinas atrás referidas (PDM das Caldas da Rainha, 2009).

As condições de acumulação de água e o desenvolvimento de solos hidromórficos em algumas áreas da depressão diapírica, potenciaram o desenvolvimento de áreas com grande valor ambiental, como o caso do Paul de Tornada (ARHTejo, 2011). Este sistema palustre integra um conjunto de terras baixas, outrora cobertas por um braço de mar que entrava pela concha de São Martinho do Porto (Martins e Caetano, 1992).

Na zona onde está inserido o Paul, as formações geológicas ocorrentes são aluviões, geralmente constituídas por areias, que foram depositadas durante a última regressão marinha. Subjacentemente, encontram-se formações marinhas constituídas por areias com calhaus rolados e por grés argilosos, e ainda margas de cor avermelhada. As margas formam uma camada impermeável, impedindo que a água se infiltre para camadas mais profundas, permitindo, deste modo, a formação de uma zona permanentemente alagada, o Paul da Tornada (Martins e Caetano, 1992).

5.1.5 Pedologia

O concelho das Caldas da Rainha é constituído, em grande parte, por solos desenvolvidos, relativamente profundos e com horizontes (A, B e C) bem definidos, à excepção do sector centro-leste do concelho, que apresenta solos pouco desenvolvidos, com um horizonte B incipiente ou quase inexistente (PDM das Caldas da Rainha, 2009).

Na Figura 5.13, é possível verificar que os solos presentes na depressão diapírica, onde se insere o Paul de Tornada, apresentam características muito distintas comparativamente aos solos que ocorrem nas restantes áreas do concelho (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e PDM das Caldas da Rainha, 2009).

Na depressão diapírica ocorrem solos podzóis associados a depósitos arenosos e solos mediterrâneos, essencialmente, associados a afloramentos de margas (PDM das Caldas da Rainha, 2009). Na área do Paul de Tornada encontram-se essencialmente aluviossolos (antigos e modernos), resultantes da acumulação de materiais sedimentares transportados pelos cursos de água assim como, solos hidromórficos (PDM das Caldas da Rainha, 2009).

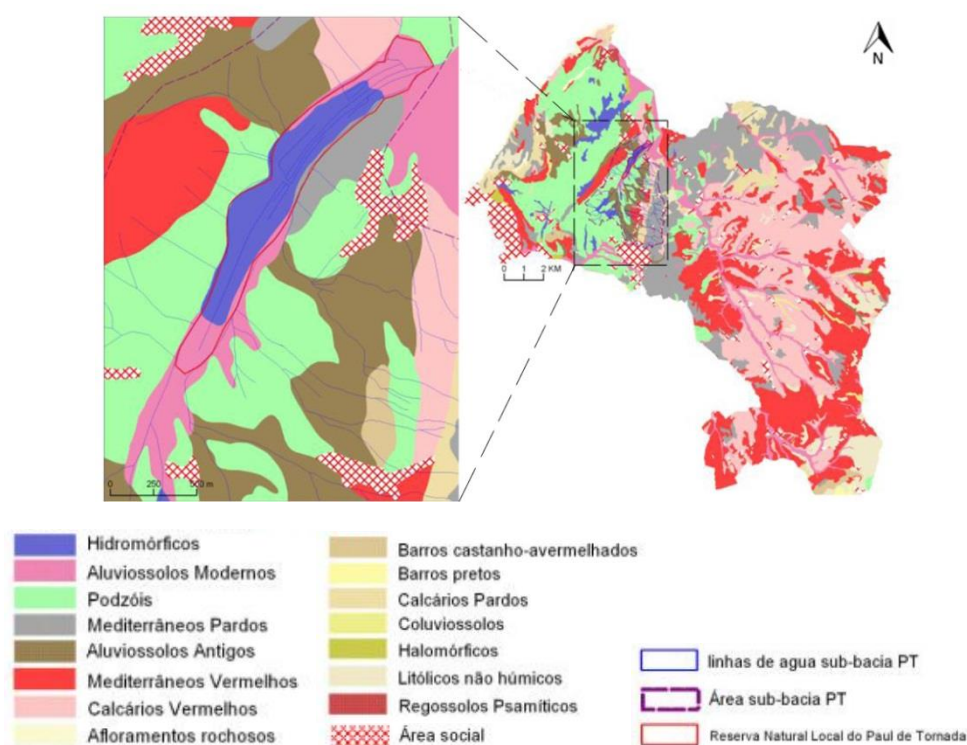


Figura 5.13 - Solos na região da RNL-PT

Fonte: CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 (adaptado)

5.1.6 Hidrologia e Hidrogeologia

Situado na Região Hidrográfica das Ribeiras do Oeste, o concelho das Caldas da Rainha abrange parcialmente a bacia hidrográfica do Rio Arnóia, que desagua na Lagoa de Óbidos, e grande parte da bacia hidrográfica do Rio Tornada (ARHTejo, 2011), onde se insere a sub-bacia do Paul (Figura 5.14).

A bacia hidrográfica do Rio Tornada apresenta uma área de 247 km² (ARHTejo, 2011), e ocupa a maior parte do território concelhio (71%) drenando quase toda a área da plataforma litoral do interior do concelho e da depressão diapírica (PDM das Caldas da Rainha, 2009). Este rio nasce na Serra de Candeeiros e desagua na Concha de S. Martinho, e os seus principais afluentes são a Ribeira da Amieira, a Ribeira de Alfeizerão e a Vala Real (ARHTejo, 2011 e PDM das Caldas da Rainha, 2009).

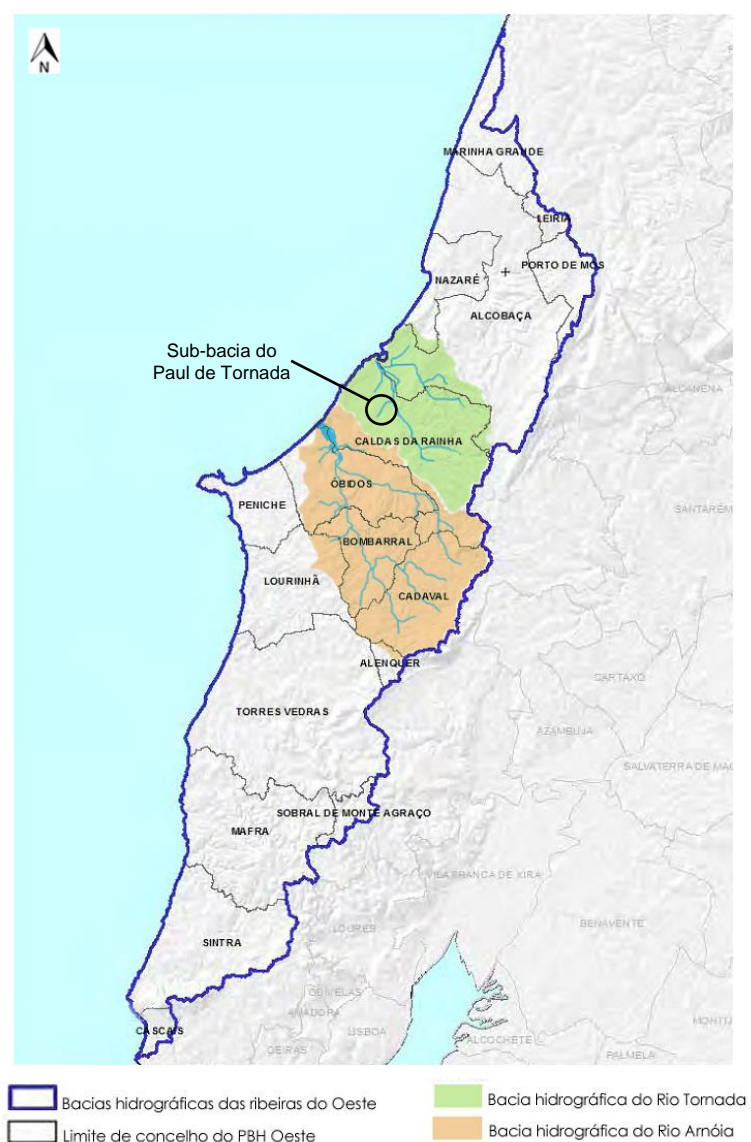


Figura 5.14 - Bacias hidrográficas no concelho das Caldas da Rainha

Fonte: ARHTejo, 2011b (adaptado)

A sub-bacia do Paul de Tornada apresenta uma forma alongada e ocupa uma área de 15,83 km², representando cerca de 6% da área total da bacia do Rio Tornada (Figura 5.15). As principais características morfométricas relativas à sub-bacia em estudo encontram-se no Quadro 5.1.

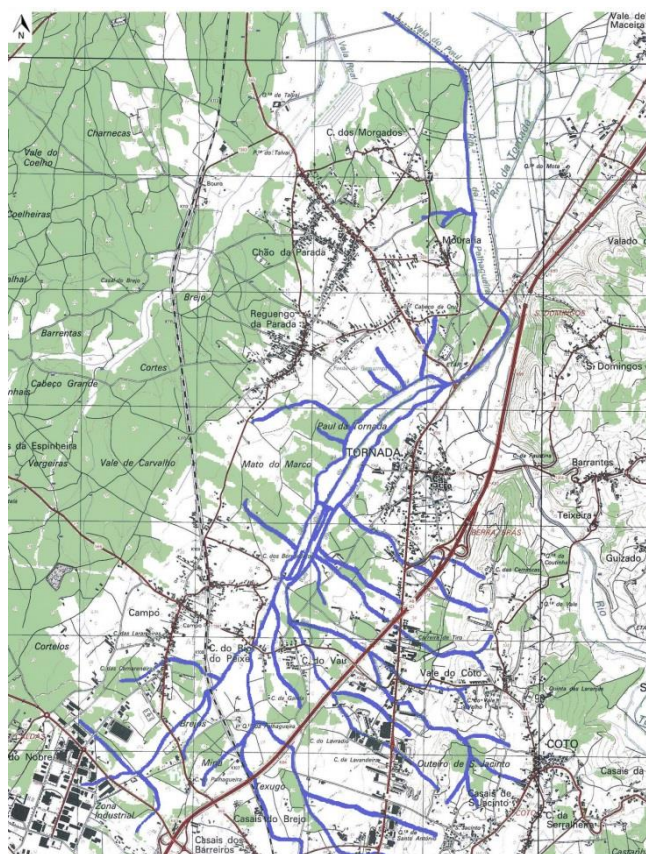


Figura 5.15 - Linhas de água pertencentes à sub-bacia do Paul de Tornada

Quadro 5.1 - Características fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do Paul de Tornada

Características da Bacia Hidrográfica	
Área (km²)	15,83
Perímetro (km)	21,2
Comprimento da linha de água principal (km)	9,28
Declive médio da linha de água principal (%)	1,24
Altura média (m)	42,6
Forma	Alongada

O Paul é atravessado por três valas de drenagem, que têm origem a Sul, em pequenos ribeiros: a Vala do Guarda-Mato (a Este), a Vala da Palhagueira (a Oeste) e a Vala do Meio, que atravessa a zona central do Paul (Figura 5.16). Estas valas, com sentido de escoamento de Sul para Norte, desenvolvem-se quase paralelamente até ao extremo Nordeste do Paul, onde se juntam (Farinha *et al.*, 2001 e MedWet, 2005). O pequeno ribeiro formado nesse ponto de confluência vai, posteriormente, juntar-se à Vala Real, que conflui no Rio Tornada e que, por sua vez, vai desaguar na Baía de São Martinho do Porto. O facto de os terrenos serem planos

com desnível pequeno, torna o escoamento bastante difícil (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e Gabriel e Martins, 1989).

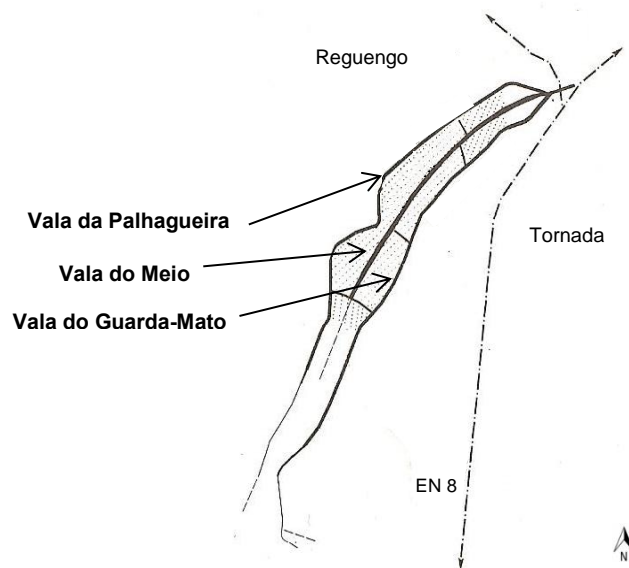


Figura 5.16 - Representação esquemática das valas de drenagem do Paul de Tornada

Fonte: Martins e Caetano, 1992 (adaptado)

Relativamente às águas subterrâneas, o concelho é atravessado pelo sistema aquífero *Caldas da Rainha – Nazaré*, pertencente à Orla Sedimentar Ocidental. Este sistema aquífero atravessa também os concelhos de Alcobaça, Bombarral, Óbidos e Nazaré estendendo-se paralelamente à linha de costa, e ocupando uma área total de 166 km² (Figura 5.17) (Almeida *et al.*, 2000 e PDM das Caldas da Rainha, 2009).

É um sistema multicamada, poroso, livre a confinado, composto na base por areias marinhas fossilíferas do Pliocénico superior, que assentam, em geral, sobre o complexo evaporítico da base do Jurássico (Margas de Dagorda). No topo, é composto por areias continentais, com leitos de lenhitos e diatomitos, pertencentes também ao Pliocénico superior. As formações pliocénicas referidas, em algumas áreas, encontram-se cobertas por aluviões recentes, nomeadamente na zona entre Alfeizeirão e São Martinho do Porto (Almeida *et al.*, 2000; CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e PDM das Caldas da Rainha, 2009). Algumas outras áreas estão também cobertas por aluviões recentes, essencialmente ao longo da Vala da Palhagueira (onde conflui a rede de drenagem do sector leste da depressão diapírica) e da Vala Real (onde conflui a rede de drenagem do sector oeste da depressão) (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). Na generalidade, a alimentação do aquífero efectua-se por recarga directa através da precipitação ou, eventualmente, a partir de alguns troços de cursos de água (Almeida *et al.*, 2000).

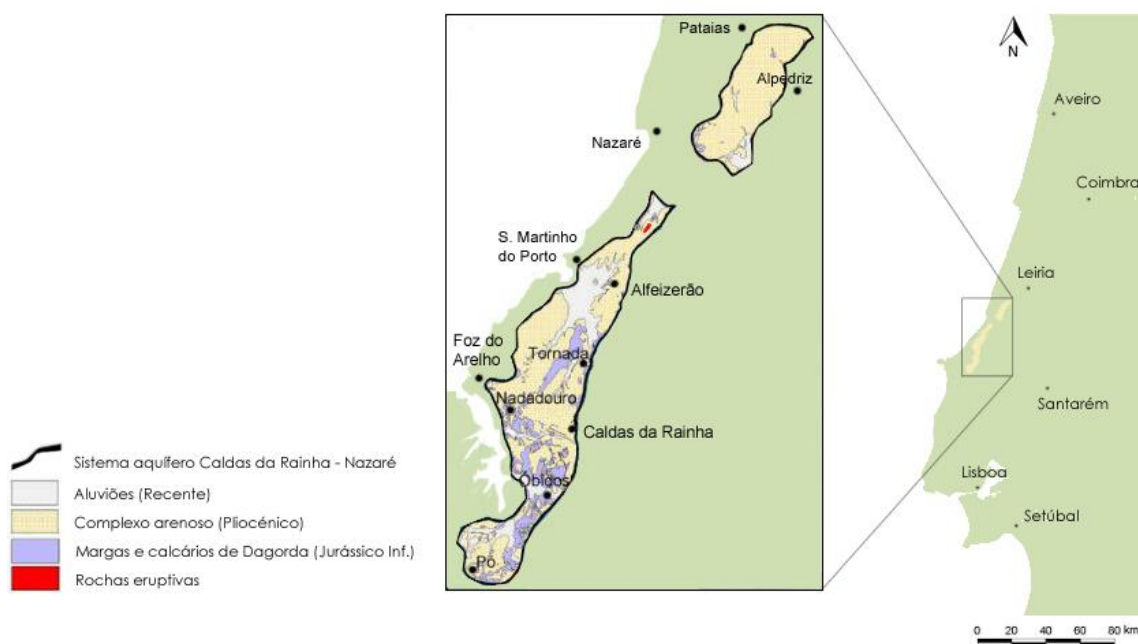


Figura 5.17 - Localização e enquadramento litoestratigráfico do sistema aquífero Caldas da Rainha – Nazaré

Fonte: Almeida *et al.*, 2000; INAG/SNIRH (adaptado)

O Paul de Tornada localiza-se sobre um aquífero confinado (com uma camada de margas por baixo das camadas de areias), o que reforça a permanência de uma área alagada. Este sistema palustre recebe o escoamento superficial da sua sub-bacia hidrográfica, mantendo os níveis de humidade mesmo durante a estação seca, pelo facto de o nível freático no local, associado à existência do aquífero, ser muito elevado (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

5.2 Classificações e estatutos de protecção

Em virtude do reconhecimento da importância dos valores naturais presentes no Paul de Tornada, foram atribuídos a esta zona húmida vários estatutos de protecção, ao abrigo da legislação nacional e de directivas comunitárias assim como, ao nível de convenções internacionais. Esta zona húmida encontra-se abrangida pelos seguintes regimes de protecção:

- **Sítio Ramsar**

O Paul de Tornada está classificado como *Zona Húmida de Importância Internacional*, no âmbito da Convenção de Ramsar, desde 24 de Outubro de 2001 (Associação PATO, 2004 e CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). Os critérios que justificaram a sua inclusão na Lista de Sítios Ramsar estão descritos no Quadro 5.2, sendo que os critérios com maior relevância para a classificação foram B2; B3 e B4 (Ramsar e Wetlands International, 2001).

Quadro 5.2 - Critérios para a designação do Paul de Tornada como Sítio Ramsar

Critério	Descrição
Grupo A	
1	A zona húmida contém um exemplo representativo, raro ou único de um tipo de zona húmida natural ou semi-natural na região biogeográfica em questão.
Grupo B	
2	A zona húmida sustenta espécies vulneráveis, em perigo ou em estado particularmente crítico, ou comunidades ecológicas ameaçadas.
3	A zona húmida sustenta populações de espécies vegetais e/ou animais importantes para a manutenção da diversidade biológica de uma determinada região biogeográfica.
4	A zona húmida sustenta espécies vegetais e/ou animais numa fase crítica do seu ciclo biológico, ou oferecendo-lhes refúgio perante condições adversas.
8	A zona húmida constitui uma importante fonte de alimento, local de reprodução, maternidade ou migração para peixe, da qual dependem directa ou indirectamente os <i>stocks</i> .

Fonte: Farinha *et al.*, 2001 e Ramsar e Wetlands International, 2001 (adaptado)

- **Carta de Ordenamento (Plano Director Municipal das Caldas da Rainha)**

O Paul de Tornada constitui uma zona húmida de elevado valor ecológico, tendo-lhe sido atribuída a classificação de “espaço natural”, em 2002, com a aprovação do Plano Director Municipal (PDM) das Caldas da Rainha, conforme a RCM n.º 101/2002 de 18 de Junho. Este estatuto determina que a área natural em causa, está sujeita a um regime de protecção que acautela a prevalência dos seus valores naturais únicos, face a qualquer outro uso do solo (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010), proibindo:

“operações de loteamento urbano, obras de urbanização, obras de construção e de ampliação de edifícios, obras hidráulicas, abertura de vias de comunicação, aterros, escavações e destruição do coberto vegetal, introdução de espécies não indígenas da flora e da fauna, nos termos da legislação em vigor, e actividades ou acções susceptíveis de causar poluição.”

(Artigo 67.º, Secção I – Áreas naturais, Capítulo VIII – Espaços Naturais, RCM nº101/2002)

- **Carta de Condicionantes (Plano Director Municipal das Caldas da Rainha)**

Os valores naturais e a fertilidade dos solos do Paul de Tornada levaram a que esta área fosse incluída na REN, aprovado pela RCM n.º 158/2003, de 6 de Outubro de 2003, e na RAN no

âmbito da aprovação do PDM das Caldas da Rainha, pela RCM n.º 101/2002, de 18 de Junho de 2002 (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). Ao estar integrada na RAN, a área do Paul de Tornada apenas deve ser afectada à actividade agrícola (não conflituosa com o regime da REN) (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

- **Reserva Natural Local do Paul de Tornada**

Para assegurar a protecção dos valores naturais existentes nesta zona húmida, o Paul de Tornada foi classificado como reserva natural local. O procedimento de criação da RNL-PT foi concluído, em 2 de Julho de 2009, através da publicação em Diário da República do Aviso nº 11724/2009 (Associação PATO, s.d. e CM das Caldas da Rainha, 2009). A gestão da Reserva é efectuada pela CM das Caldas da Rainha, conjuntamente com um representante do ICNF, pela associação PATO e pelo GEOTA (CM das Caldas da Rainha, 2009). Na Figura 5.18 encontra-se assinalada a RNL-PT, que abrange uma área de 53,65 ha (ICNF, s.d.).

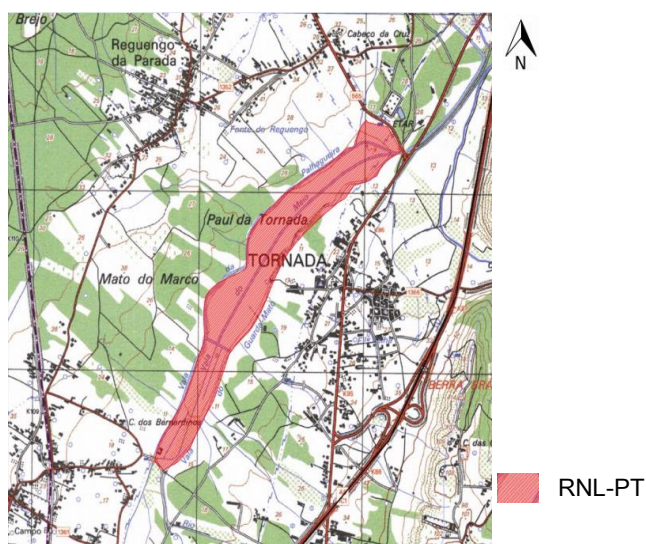


Figura 5.18 - Reserva Natural Local do Paul de Tornada

Fonte: Plano de gestão, 2010

No seguimento do processo de planeamento e gestão da RNL-PT, foi desenvolvido e implementado, em 2010, o *Plano de Gestão da Reserva Natural Local do Paul de Tornada*. No plano constam os objectivos gerais e específicos, estando discriminado um conjunto de acções a serem executadas pela CM das Caldas da Rainha, GEOTA e associação PATO (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e Silva *et al.*, 2012). A concretização das acções especificadas no plano encontra-se a cerca de 20%, segundo Silva *et al.* (2012).

- **Rede Nacional de Áreas Protegidas**

Desde 5 de Julho de 2009, a RNL-PT passou a integrar a Rede Nacional de Áreas Protegidas

(RNAP) (Associação PATO, s.d. e CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). A sua inclusão na RNAP visa atribuir-lhe um estatuto legal de protecção apropriado à manutenção da biodiversidade, dos serviços dos ecossistemas e do património geológico, assim como à valorização da paisagem (DL n.º 142/2008).

5.3 Valores e serviços ambientais

O Paul de Tornada apresenta um património natural único, de inegável interesse ecológico e paisagístico, além de proporcionar diversas funções/serviços ambientais importantes para o equilíbrio do ecossistema e para o bem-estar humano.

Antes de mais, este sistema palustre é um reservatório de água doce, essencial para inúmeros seres vivos que dependem desta zona húmida para sobreviver, assim como para a rega das culturas agrícolas nas áreas envolventes.

A RNL-PT sustenta elevada biodiversidade, tanto em termos de flora como de fauna, sendo reconhecida a sua importância a nível ornitológico, nomeadamente para diversas aves aquáticas e migratórias, o que levou à sua classificação como Sítio Ramsar (Martins e Caetano, 1992 e Ramsar e Wetlands International, 2001). Este local constitui habitat permanente, temporário e/ou de passagem para diversas espécies de vida selvagem, que a utilizam como local de descanso, alimentação, reprodução e abrigo. Algumas dessas espécies, encontram-se protegidas no âmbito de convenções internacionais e/ou pertencem à lista de espécies ameaçadas do Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (MedWet, 2005). Assim, o Paul tem um papel determinante na conservação das espécies e na manutenção da diversidade biológica.

O facto de ser uma das últimas áreas palustres existentes na região, após outros ecossistemas semelhantes terem sido profundamente alterados, como consequência das fortes pressões agrícolas, urbanísticas e industriais, contribui para conferir uma importância ainda mais significativa à área em causa (CM das Caldas da Rainha, 2009 e Farinha *et al.*, 2001). Esta circunstância aliada ao facto de a RNL-PT se encontrar situada num corredor atlântico de migração, atribui-lhe um papel essencial no apoio às rotas de diversas espécies de aves (Associação PATO, s.d. e Martins e Caetano, 1992).

A vegetação desta zona húmida, embora seja composta por espécies vulgares, constitui o suporte de toda a cadeia trófica existente (Martins e Caetano, 1992). Além disso, a flora presente contribui para a manutenção da qualidade do ar. É também de destacar que o Paul de Tornada, pela sua extensão e localização geográfica, constitui, sem dúvida, uma área importante para a conservação dos caniçais do país, que possuem elevada relevância ornitológica como local de refúgio, alimentação e nidificação (CM das Caldas da Rainha, 2009 e MedWet, 2005). Outro aspecto a salientar é a presença, a nível da flora, de espécies que se

poderão destacar pelo seu potencial depurador contribuindo para a melhoria da qualidade da água, como é o caso, nomeadamente, dos caniços (*Phragmites*) e tabúas (*Typha*).

Conjuntamente, com a Lagoa de Óbidos e os campos da Quinta do Talvai⁵, este sistema palustre desempenha um papel importante na regulação da temperatura e humidade atmosférica na região, diminuindo as oscilações térmicas e aumentando a humidade do ar, durante os dias quentes do Verão (Martins e Caetano, 1992). O Paul apresenta também elevada relevância, a nível local, na regulação dos lençóis freáticos (Ramsar e Wetlands International, 2001).

À semelhança de outras zonas húmidas, o Paul de Tornada poderá também ter um papel importante no controlo das cheias e na depuração de poluentes. Estes serviços ambientais serão alvo de estudo nos subcapítulos 5.4 e 5.5, respectivamente.

Antigamente, na área do Paul cultivava-se legumes, vinha e alguns cereais como trigo, cevada e arroz (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e Martins e Caetano, 1992). Além de alimentos, esta zona húmida fornecia ainda outros recursos, como o caso do bunho, uma variedade de bambu, que a população da localidade de Reguengo colhia e utilizava para fabricar esteiras (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

Apesar de não haver património histórico e cultural edificado no local, esta zona húmida apresenta um valor cultural relevante, estando associada à criação da actual cidade das Caldas da Rainha (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e Ramsar e Wetlands International, 2001). As primeiras referências históricas alusivas ao Paul de Tornada estão relacionadas com a Rainha D. Leonor de Lencastre, esposa do Rei D. João II, que encantada com as capacidades curativas das águas sulfurosas, tomou a iniciativa de mandar edificar o Hospital Termal das Caldas Rainha (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010; Gabriel e Martins, 1989; MedWet, 2005; Martins e Caetano, 1992 e Ramsar e Wetlands International, 2001). Nessa altura, designava-se por Paul de Cornaga, denominação que se manteve até ao século XVII (Associação PATO, 2004 e CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010).

A localização e as características desta zona húmida e da sua envolvente conferem-lhe potencial que tem vindo a ser aproveitado, sempre na óptica da utilização sustentável, em diversas vertentes, nomeadamente turística, pedagógica e científica.

A nível turístico, o Paul apresenta elevado potencial que poderá ser incrementado, através de uma maior divulgação da RNL-PT e dos seus valores naturais e paisagísticos, além da criação de actividades recreativas específicas e da conservação e desenvolvimento de trilhos com respectiva sinalética interpretativa (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). A beleza natural única conferida pela presença da água e pela grande diversidade de espécies torna este local bastante agradável para a prática de actividades como caminhadas, fotografia e leitura. A

⁵ Quinta com grandes áreas de terrenos agrícolas, onde antigamente se fazia cultura intensiva do arroz. Estes campos são sujeitos frequentemente a inundações.

observação de aves é, também, um dos factores que atrai visitantes à RNL-PT. Actualmente, no CEET, os visitantes têm acesso a alguns folhetos informativos e a possibilidade de assistir a vídeos e apresentações sobre zonas húmidas (Ramsar e Wetlands International, 2001). Efectuam-se também visitas guiadas para o público em geral, desde que previamente reservadas (Associação PATO, s.d.).

Relativamente ao potencial pedagógico que a RNL-PT oferece, este tem sido aproveitado ao longo dos anos, pela associação PATO que, regularmente, desenvolve e dinamiza actividades ligadas à sensibilização e educação ambiental e às actividades de ocupação de tempos livres, em especial, de crianças e jovens (CM das Caldas da Rainha, 2009). Estas actividades não são apenas destinadas à comunidade escolar, mas também à população em geral, e consistem na realização de palestras, debates e exposições, assim como de percursos pelos trilhos do paul e *ateliers* pedagógicos (reutilização de materiais, elaboração de herbários, actividades experimentais, observação de aves com binóculos, construção de ninhos e comedouros) (Associação PATO, s.d.; Associação PATO, 2004 e GEOTA, s.d.). Este local constitui também fonte de interesse para pesquisas e projectos de investigação científica, tendo já as instalações do CEEP acolhido investigadores, alguns internacionais.

O reconhecimento da importância dos valores naturais presentes no Paul de Tornada, levou a que lhe fossem atribuídos vários estatutos de protecção, quer ao abrigo da legislação nacional, quer ao nível de directivas comunitárias e convenções internacionais, como já foi anteriormente mencionado. Contudo, apesar deste reconhecimento e da importância do conjunto de funções/serviços ambientais que o paul proporciona, este é ainda menosprezado. É necessário continuar a promover a sua utilização sustentável e sensibilizar a comunidade para o seu valor no contexto local e regional, procurando que seja encarado como espaço educativo e de lazer (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010). Pretende-se, desta forma, aproximar a comunidade deste espaço, despertando o sentimento de pertença e estimulando o seu envolvimento na conservação desta zona húmida.

5.4 Avaliação do potencial de depuração

5.4.1 Pressões e qualidade da água – evolução nos últimos anos

No Paul de Tornada, a questão mais problemática é a poluição, como foi anteriormente mencionado. Ao longo de décadas, as indústrias, as pecuárias e as águas residuais de parte da cidade das Caldas da Rainha, contribuíram para a progressiva degradação deste sistema palustre, em particular das valas laterais que o delimitam (CM das Caldas da Rainha *et al.*, 2010 e Farinha e Trindade, 1994).

Nos anos 80, eram visíveis as descargas poluentes, que resultavam no comprometimento de

grande parte da biodiversidade existente nesta zona húmida (CM Caldas da Rainha *et al.*, 2010). Segundo Martins e Caetano (1992), o grande número de explorações suinícolas existentes no concelho causavam graves problemas de poluição, dado que a maioria das unidades de produção eram do tipo familiar, muitas vezes não legalizadas e raramente possuíam tratamento de efluentes.

A poluição na vala de Guarda-Mato era predominantemente orgânica, proveniente de indústrias, nomeadamente do ramo alimentar, salientando-se também a presença de efluentes de oficinas e estações de lavagem de automóveis (Farinha e Trindade, 1994 e Martins e Caetano, 1992). Na vala da Palhagueira, a poluição era essencialmente, devida a efluentes domésticos da cidade das Caldas da Rainha (Farinha e Trindade, 1994 e Martins e Caetano, 1992).

Durante a década de 90, foram efectuados no concelho investimentos ao nível de redes de saneamento, procedendo-se também à construção de várias estações de tratamento de águas residuais (ETAR), o que resultou na diminuição da poluição nas valas do Paul (Martins e Caetano, 1992).

Em 2006, Bárbaro (2007) avaliou a qualidade da água do Paul, e verificou que tanto a vala de Guarda-Mato como o interior do Paul não apresentavam sinais de poluição. No entanto, na vala da Palhagueira registou a ocorrência de contaminação de origem fecal e de sólidos suspensos totais (SST), assim como uma elevada concentração de fosfatos. Segundo o autor, estes valores provavelmente estariam relacionados com falhas de funcionamento da estação elevatória que, por vezes, estaria a libertar as águas residuais directamente para a vala, sem qualquer tratamento (Bárbaro, 2007). Relativamente ao troço de confluência das três valas, a jusante do Paul, este apresentou um nível de poluição preocupante, principalmente a nível de fosfatos, SST, coliformes totais e fecais, e *estreptococos*. Todos estes parâmetros são indicadores de poluição característicos de águas residuais domésticas, pelo que a sua origem poderá estar relacionada ou com o funcionamento deficiente da ETAR ou com descargas ilegais de fossas ou de suiniculturas (Bárbaro, 2007).

Bárbaro (2007), salienta ainda o facto de o interior do Paul não apresentar sinais de poluição, apesar do seu principal afluente - a Vala da Palhagueira - registar poluição por efluentes de águas residuais, o que poderá ser indicativo da capacidade de depuração da zona húmida em estudo. A agricultura praticada nos terrenos envolventes, nomeadamente de produtos hortícolas, embora pouco intensiva, determina descargas de nutrientes e poluentes que são lixiviados para os solos e águas do Paul (Bárbaro, 2007 e MedWet, 2005).

Actualmente, a maioria da população do concelho das Caldas da Rainha encontra-se servida por redes de saneamento (SMAS das Caldas da Rainha, 2012). De acordo com os SMAS das Caldas da Rainha (2012), a rede de drenagem e consequente tratamento de águas residuais domésticas, abrange cerca de 87% da população. No entanto, existem ainda algumas

localidades e/ou freguesias, como Alvorninha e Carvalhal Benfeito que, devido ao facto de terem um povoamento muito disperso e uma orografia complexa, não permitem uma fácil implementação das redes tradicionais de saneamento. Nestes casos, recorre-se à utilização de sistemas de tratamento mais simples e individualizados, nomeadamente fossas sépticas, poço roto/absorvente e trincheiras de infiltração (SMAS das Caldas da Rainha, 2012). Nas proximidades do Paul, existem algumas estações elevatórias de águas residuais, que pontualmente, fazem descargas directamente para as linhas de água, devido à ocorrência de falhas de energia, bem como de furtos de componentes eléctricos das estações elevatórias.

A Ribeira da Palhagueira, uma das linhas de água que conflui no Paul tem apresentado, em termos de qualidade da água, uma melhoria significativa, após diversos investimentos ao nível das redes de águas residuais domésticas e pluviais na cidade das Caldas da Rainha (SMAS das Caldas da Rainha, 2012).

Na totalidade existem nove ETAR em funcionamento no concelho, das quais cinco se localizam na bacia hidrográfica do Rio de Tornada (SMAS das Caldas da Rainha, 2009). Todas as ETAR se encontram dotadas de nível de tratamento secundário, mas não estão dimensionadas para a remoção de Nitratos, Azoto Total e Fósforo (SMAS das Caldas da Rainha, 2012).

Segundo a ARHTEjo (2011a), ao nível da bacia do Rio Tornada, verificam-se actualmente problemas de contaminação orgânica e de nutrientes associados à poluição difusa, através de escurência de solos agrícolas, e à inexistência de sistemas de tratamento apropriados de efluentes agro-pecuários. Nesta bacia hidrográfica, as pressões mais relevantes verificam-se ao nível da agricultura e da pecuária, como se pode verificar pelo Quadro 5.3 (ARHTEjo, 2011a).

Quadro 5.3 - Principais pressões identificadas na bacia do Rio de Tornada

SECTOR	Pressões (ton/ano)				
	CBO ₅	Pontual		Difusa	
		Azoto	Fósforo	Azoto	Fósforo
Agro-indústria	88,7	38,8	0,0	–	–
Pecuária	843,0	215,0	71,7	–	–
Urbano	76,7	35,0	11,3	–	–
Agricultura	–	–	–	60,7	10,5
Floresta	–	–	–	14,2	0,7
Espalhamento	–	–	–	0,3	0,1
Outros	–	–	–	1,3	0,3

Fonte: ARHTEjo, 2011a

Relativamente à massa de água referente à vala da Palhagueira, esta apresenta um considerável nível de poluição, confirmada por ARHTEjo (2011a), sendo o seu estado de qualidade inferior a bom (Figura 5.19). Os parâmetros físico-químicos gerais e biológicos

responsáveis por este estado são Azoto total, CBO₅ e diatomáceas, o que está em consonância com as pressões identificadas (Quadro 5.4 e Quadro 5.5). Não se evidenciam violações dos objectivos de qualidade relativamente a poluentes específicos e substâncias perigosas e outros poluentes (ARHTejo, 2011a).

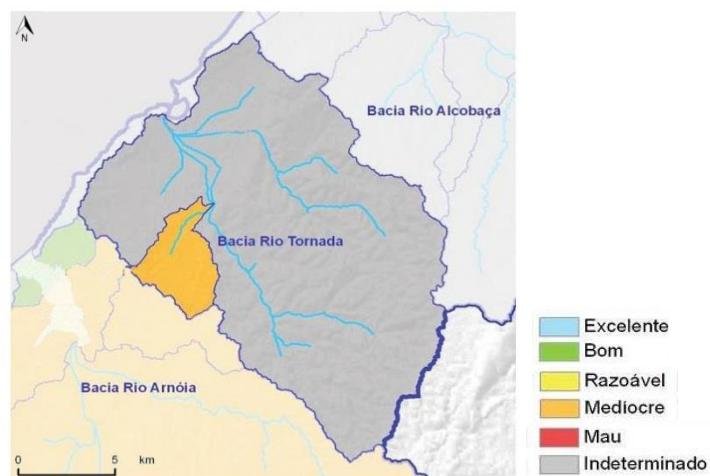


Figura 5.19 - Estado da massa de água referente à Vala da Palhagueira

Fonte: ARHTejo, 2011a (adaptado)

Quadro 5.4 - Principais pressões identificadas na massa de água referente à vala da Palhagueira

SECTOR	Pressões (ton/ano)				
	Pontual			Difusa	
	CBO ₅	Azoto	Fósforo	Azoto	Fósforo
Agro-indústria				–	–
Pecuária				–	–
Urbano	14,7	6,7	2,2	–	–
Agricultura	–	–	–	3,5	0,6
Floresta	–	–	–	0,4	0,0
Espalhamento	–	–	–	0,0	0,0
Outros	–	–	–	0,4	0,1

Fonte: ARHTejo, 2011a

Quadro 5.5 - Pressões totais na massa de água referente à vala da Palhagueira

Pressões totais (t/ano)	
CBO ₅	14,7
Azoto total	11,0
Fósforo total	2,9

Fonte: ARHTejo, 2011a

5.4.2 Apresentação de um caso de estudo relativo à importância das zonas húmidas no restabelecimento da qualidade da água

Resumo

O caso de estudo apresentado designa-se por *Importância das zonas húmidas no restabelecimento da qualidade da água – um estudo ecotecnológico no Paul de Arzila (Coimbra)*. Trata-se de um projecto de final de curso da Licenciatura em Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, realizado no ano de 1999.

O principal objectivo do estudo consistia em avaliar o potencial de depuração do Paul de Arzila, através da monitorização da qualidade da água da bacia hidrográfica da ribeira de Cernache.

Breve caracterização

O estudo foi realizado na Reserva Natural do Paul de Arzila (RNPA), que se localiza na região Centro (NUT II), na zona do Baixo Mondego (NUT III) e pertence aos concelhos de Coimbra, Condeixa-a-Nova e Montemor-o-Velho (Figura 5.20) (RNPA/CEZH, 2004). Este sistema palustre abrange uma área de 535 hectares, sendo atravessado por três valas que desaguam no Rio Mondego: Vala da Costa (a Oeste), Vala do Meio e a Vala dos Moinhos (a Leste) (Abreu *et al.*, 1999 e RNPA/CEZH, 2004).

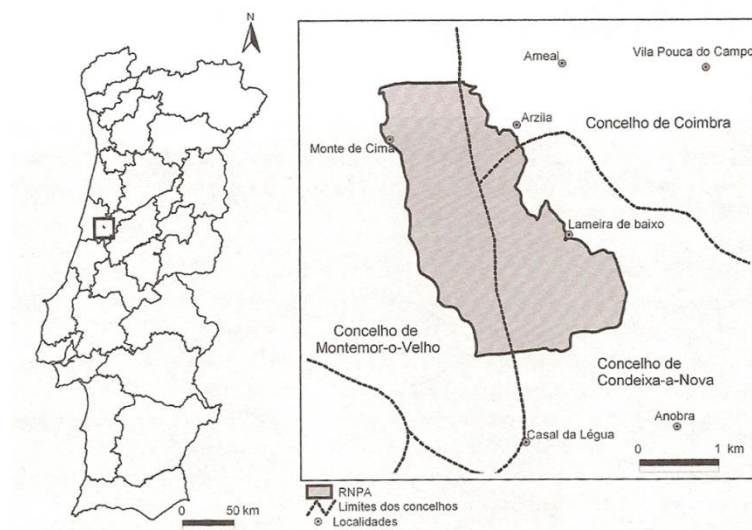


Figura 5.20 - Localização do Paul de Arzila

Fonte: RNPA/CEZH, 2004

A RNPA apresenta elevada biodiversidade, quer em termos de fauna como de flora. A vegetação na zona paludosa é constituída principalmente por caniço (*Phragmites australis*), bunho (*Scirpus lacustris*), tábuas (*Typha* sp.) e juncos (*Juncus* sp.) (RNPA/CEZH, 2004).

Segundo os critérios adoptados pela Convenção de Ramsar, o Paul de Arzila classifica-se como uma zona húmida interior do tipo palustre de água doce permanente (RNPA/CEZH, 2004). Tem atribuídos vários estatutos de protecção entre os quais: rede Natura 2000, ZPE, Sítio Ramsar e Reserva Biogenética do Conselho da Europa (Abreu *et al.*, 1999 e RNPA/CEZH, 2004).

O principal factor de pressão nesta zona húmida é a poluição da água por efluentes domésticos, industriais e agrícolas (Abreu *et al.*, 1999). No Quadro 5.6, encontram-se os principais tipos de poluição que afectam as diferentes linhas de água.

Quadro 5.6 - Principais fontes de poluição

Linhas de águas	Estação	Principais fontes de poluição
Ribeira da Malga	1	Industrial (ramo alimentar e materiais cerâmicos)
Ribeira de Cernache	2	Urbana e agrícola
Ponte da Melhora	3	Urbana, agrícola e industrial
Vala dos Moinhos (Casal das Figueiras)	4	Urbana e agrícola (lixiviados dos campos agrícolas adjacentes)
Vala do meio (Casal das Figueiras)	5	Poluição difusa dos campos agrícolas
Vala da Costa	6	Urbana e agrícola

Fonte: Abreu *et al.*, 1999

Objectivos e Metodologia

O estudo teve como principais objectivos avaliar o potencial de retenção, através da análise do comportamento do sistema palustre, efectuando o balanço entre as concentrações de nutrientes (N e P) registadas à entrada e à saída do Paul. Nesse âmbito, foram realizadas campanhas de amostragem, durante 10 meses, para monitorização da qualidade da água. A recolha de amostras relativas aos diferentes parâmetros foi efectuada em regime mensal, de Janeiro a Novembro de 1999 (Abreu *et al.*, 1999).

Na Figura 5.21 estão assinaladas as oito estações de amostragem. As estações 1, 2 e 3 situam-se na zona a montante e as estações 4, 5 e 6 situam-se à entrada do Paul. Estas seis estações localizam-se nas valas que confluem na RNPA, permitindo quantificar a poluição à entrada da reserva natural. Em relação às estações 7 e 8, estas situam-se na zona a jusante do Paul, na parte final da reserva. Enquanto a estação 7 se situa na saída do Paul, a estação 8 está localizada numa vala que não atravessa o Paul mas que provém da mesma linha de água inicial que a estação 7. Deste modo, a estação 8 funcionou como um posto de controlo para efeitos comparativos (Abreu *et al.*, 1999).

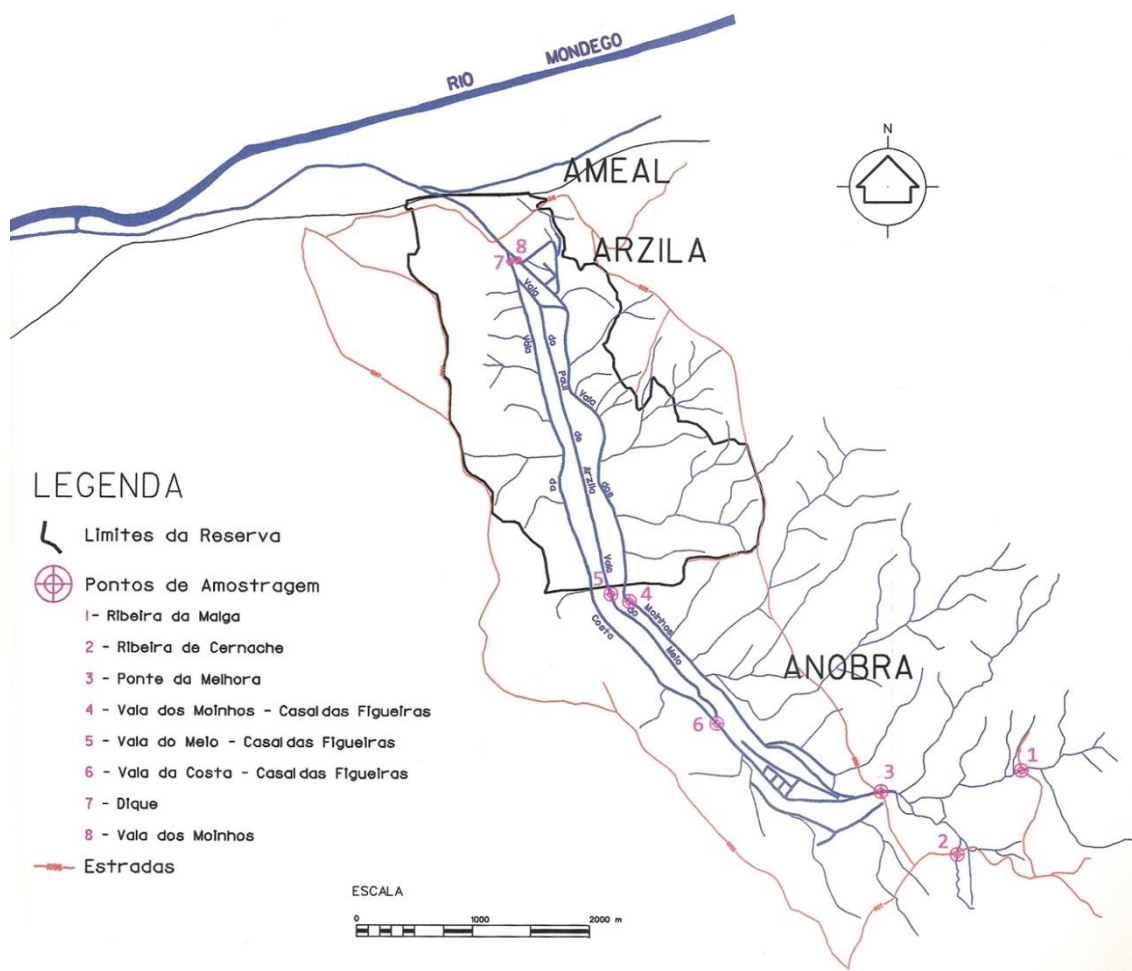


Figura 5.21 - Localização das estações de amostragem na RNPA

Fonte: Abreu et al., 1999 (adaptado)

Foram analisados *in situ* alguns parâmetros físico-químicos (temperatura da água, oxigénio dissolvido, condutividade e pH) e outros foram analisados, posteriormente, em laboratório (fosfatos, nitritos, nitratos e azoto amoniacal) (Abreu *et al.*, 1999).

Também foi determinado o caudal, através da medição do fluxo (com um fluxómetro hydro-bios modelo 438 110), largura da linha de água e profundidade no ponto médio e margens do leito, para cada ponto de amostragem.

Principais resultados e Conclusões

As cargas de fosfatos e compostos azotados (mg/mês) à entrada, saída e retidas, foram estimadas através do produto dos valores de concentração (mg/L) obtidos por amostragem e pelo caudal (L/mês) de modo a obter-se a percepção da carga que efectivamente entra, sai ou fica retida na zona húmida durante um determinado espaço de tempo (neste caso, um mês). A partir do balanço entre as cargas à entrada e à saída do Paul foram obtidos os valores de retenção (mg/mês) por parte da zona húmida. Nas Figura 5.22 e Figura 5.23, pode-se observar

de forma esquemática as cargas de compostos azotados e fosfatos envolvidos nos balanços, num mês médio.

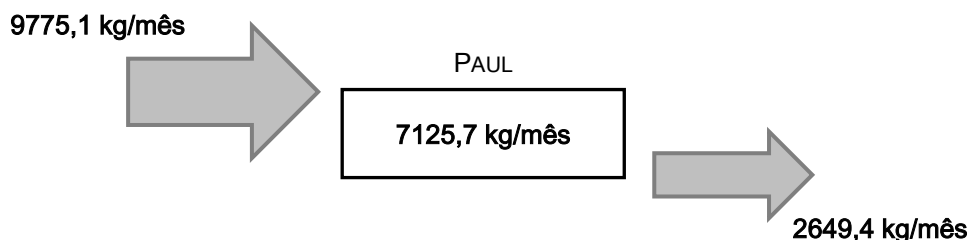


Figura 5.22 - Balanço de compostos azotados (médias mensais)
Fonte: Abreu *et al.*, 1999 (adaptado)

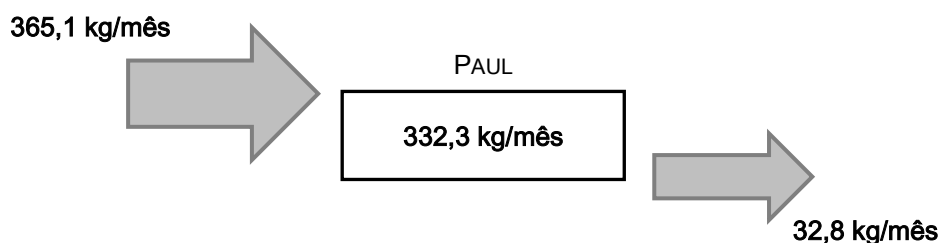


Figura 5.23 - Balanço de fosfatos (médias mensais)
Fonte: Abreu *et al.*, 1999 (adaptado)

Verifica-se claramente a retenção das cargas de fosfatos e de compostos azotados no Paul. Os valores das cargas de entrada são de ordem de grandeza semelhante às cargas retidas e consequentemente, os valores das cargas de fosfatos e compostos azotados à saída são bastante baixos, o que comprova a capacidade de retenção destes nutrientes por parte do Paul de Arzlia (Abreu *et al.*, 1999).

5.4.3 Resultados e discussão

Como foi anteriormente mencionado, devido à impossibilidade de efectuar a monitorização à qualidade de água do Paul de Tornada e fazer o estudo efectivo da capacidade depuradora do sistema, foi seleccionado um caso de estudo.

A selecção do caso de estudo em questão surgiu, pelo facto de apresentar como um dos seus principais objectivos a avaliação do potencial depurador da zona húmida referida. Além disso, o ecossistema em causa (Paul de Arzila) apresenta características similares ao Paul de Tornada. Essas características revelam-se, por exemplo, em termos da localização geográfica, uma vez que, ambos os sistemas palustres se situam na região centro de Portugal continental. Outro

aspecto relevante é o facto de os dois locais em questão, estarem classificados com a mesma tipologia de zona húmida, segundo o sistema adoptado pela Convenção de Ramsar, ou seja, zonas húmidas interiores do tipo palustre de água doce permanente. Também o facto das zonas húmidas em causa terem em comum algumas espécies de flora com características depuradoras, como o caniço, as tábuas e os juncos é outro factor que contribui para a semelhança dos casos de estudo. Adicionalmente, o principal factor de pressão nos dois casos é a poluição afluente à zona húmida, através de efluentes urbanos, industriais e agrícolas, registando-se problemas com os nutrientes azoto e fósforo.

Pelos motivos atrás descritos, tem-se a convicção que o caso de estudo do Paul de Arzila, se enquadra nos mesmos objectivos do presente trabalho, e constitui um contributo de elevada relevância para a elaboração do mesmo. Os resultados obtidos no estudo sobre o Paul de Arzila confirmam a capacidade depuradora das zonas húmidas, verificando-se claramente a retenção das cargas de nutrientes (fosfatos e compostos azotados), por parte do Paul. Deste modo, pela similaridade dos dois sistemas e com base nos principais resultados e conclusões desse estudo (Paul de Arzila), muito possivelmente o Paul de Tornada desempenha também um importante papel de depurador natural. No entanto, deverá ser desenvolvido no futuro trabalho de campo para, por um lado, confirmar a capacidade depuradora do sistema e, por outro, determinar o seu potencial depurador.

É de salientar que, o Paul de Tornada ao ser uma zona húmida natural terá taxas de retenção inferiores às de zonas húmidas construídas, uma vez que esses últimos sistemas correspondem a uma optimização dos processos naturais, obtendo-se, geralmente, melhores desempenhos na depuração de poluentes. Deste modo, a capacidade depuradora do Paul de Tornada não deverá ser superior aos valores de taxas de remoção referidas na revisão bibliográfica - Shutes *et al.* (1997) e Verhoeven e Meuleman (1999).

O caudal médio diário afluente a esta zona húmida foi estimado em 11755 m³/dia e o tempo de retenção foi estimado em 57 dias.

5.5 Avaliação do contributo no controlo de cheias

5.5.1 Enquadramento

As cheias que ocorrem nas bacias hidrográficas das ribeiras do Oeste assumem alguma relevância, não pela extensão da área sujeita a inundações mas, sobretudo, pelo impacto nos núcleos urbanos sujeitos a este tipo de ocorrências (ARHTejo, 2011). No entanto, não são expectáveis cheias de grande duração, devido ao facto das características geomorfológicas das bacias e a sua reduzida extensão favorecerem o rápido escoamento dos caudais (ARHTejo, 2011).

Na Figura 5.24, verifica-se que a bacia hidrográfica do Rio Tornada é uma das mais afectadas pelas cheias (ARH Tejo, 2011a). De facto, este curso de água possui condições para a ocorrência de cheias e inundações ao longo da maior parte do seu traçado (PDM das Caldas da Rainha, 2009).

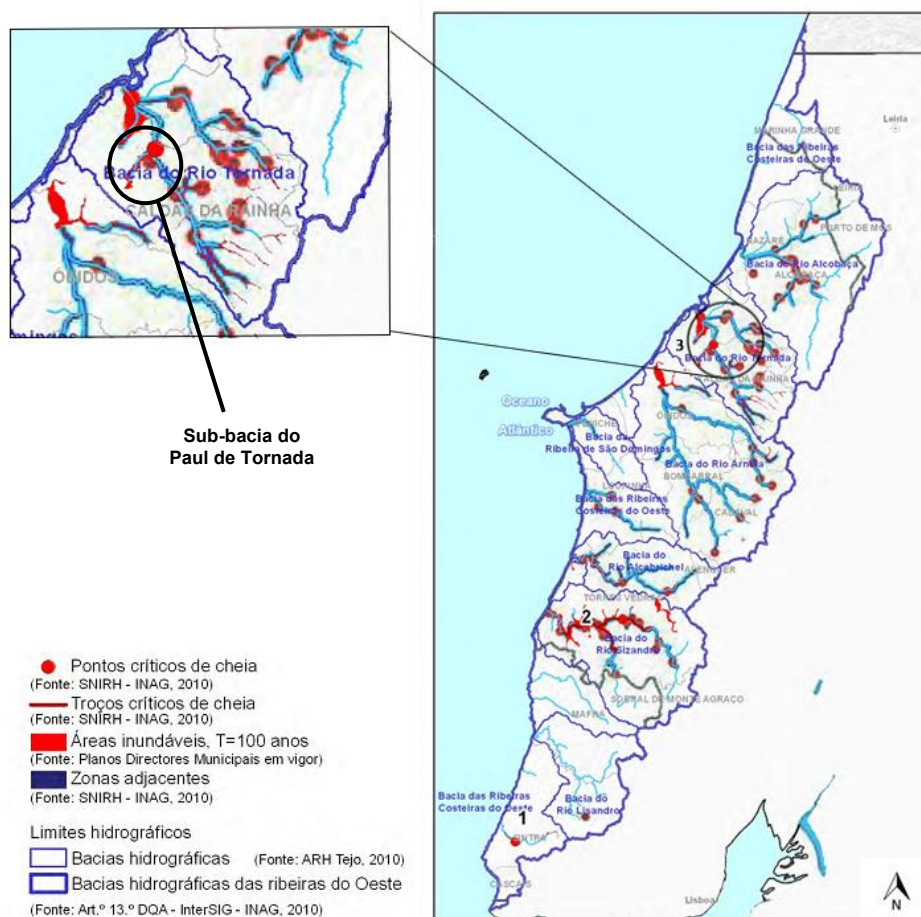


Figura 5.24 - Zonas de risco de inundação nas bacias hidrográficas das ribeiras do Oeste

Fonte: ARH Tejo, 2011b (adaptado)

É ainda possível verificar pela Figura 5.24, que a RNL-PT insere-se nas áreas inundáveis identificadas, sendo que a zona em que o troço a jusante do Paul (confluência das três valas) conflui na vala Real está classificada como *ponto crítico de cheia*. No entanto, devido à capacidade de armazenamento e de laminação de caudais característica das zonas húmidas, o Paul de Tornada poderá ter um papel relevante na redução do impacte das cheias, minimizando os prejuízos decorrentes deste tipo de fenómenos. Na secção seguinte deste capítulo (5.5.2), encontram-se os resultados referentes ao estudo da contribuição deste sistema palustre no controlo das cheias, durante a ocorrência de precipitações intensas.

5.5.2 Resultados e Discussão

O tempo de concentração da sub-bacia do Paul de Tornado foi determinado a partir de diferentes métodos (Quadro 5.7). Dado que o Paul se localiza em terrenos planos com pouco declive e a sua sub-bacia apresenta pequena dimensão (Área=15,83km²) era expectável que o t_c não fosse muito elevado, facto que se veio a constatar.

Quadro 5.7 - Tempos de concentração da sub-bacia do Paul de Tornado

Tempos de concentração (horas)			
Giandotti	Kirpich	Temez	MÉDIA
5,71	1,91	3,76	3,79

Como esperado, o t_c obtido através da expressão de Giandotti (Equação 3.5) constitui o valor mais elevado, ao contrário do t_c calculado pela fórmula de Kirpich (Equação 3.6), o qual apresenta o valor menor. De facto, a fórmula de Kirpich tende a subestimar o valor de t_c e, consequentemente, a superestimar a intensidade de precipitação e o caudal que correspondem a esse t_c . No prosseguimento do estudo, optou-se assim, por utilizar o t_c correspondente à média dos valores obtidos pelos diferentes métodos, ou seja, $t_c=3,79$ horas. Isto significa que, são necessárias aproximadamente quatro horas para que toda a área da bacia contribua em simultâneo para o escoamento superficial na secção de referência.

Na Figura 5.25 estão representadas as curvas de possibilidade udométrica com base dos valores de PMD estimados.

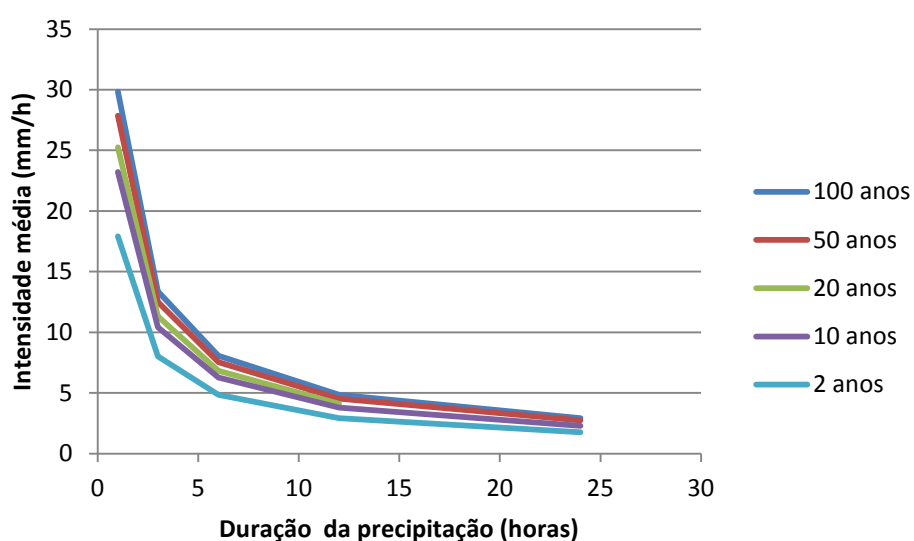


Figura 5.25 - Curvas de possibilidade udométrica PDM para diferentes períodos de retorno

A diferença entre as curvas de possibilidade udométrica representadas na Figura 5.25 corresponde à frequência de ocorrência, que se traduz em diferentes períodos do retorno. Os valores de intensidade média da chuva com duração de 1 hora, correspondentes aos períodos de retorno de 2 e 100 anos são respectivamente, 17,90 mm/h e 29,83 mm/h. Em relação, a chuvas com duração de 24 horas, os valores de intensidade referentes aos períodos de retorno mencionados são respectivamente, 1,76 e 2,93 mm/h.

Optou-se por considerar, adicionalmente, as curvas de possibilidade udométrica LNEC e INAG (Figura 5.26 e Figura 5.27), de modo a adquirir-se um maior grau de confiança nos resultados, de acordo com a abordagem metodológica apresentada no Capítulo 4.

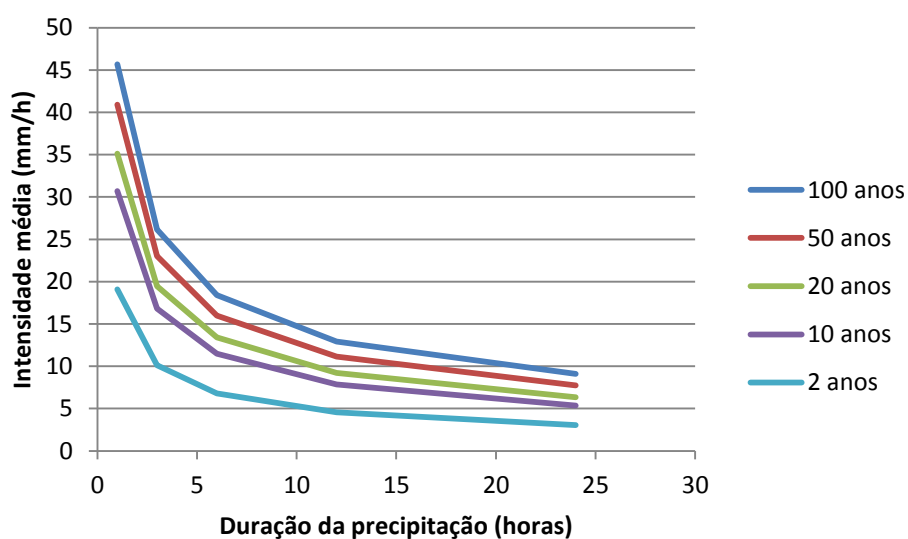


Figura 5.26 - Curvas de possibilidade udométrica LNEC para diferentes períodos de retorno

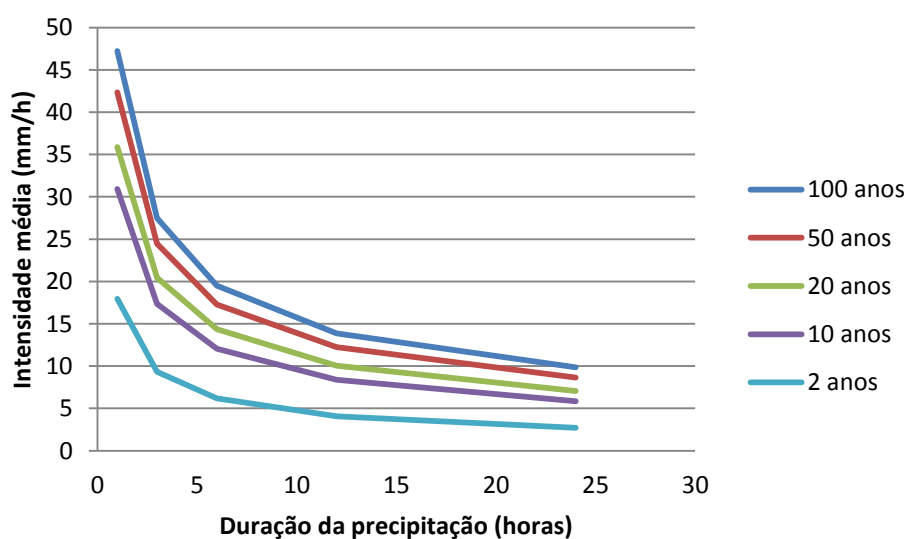


Figura 5.27 - Curvas de possibilidade udométrica INAG para diferentes períodos de retorno

Relativamente às curvas de possibilidade udométrica LNEC, verifica-se que a intensidade média da chuvada com duração de 1 hora, para o período de retorno de 2 anos é 19,09 mm/h e para o período de retorno de 100 anos é 45,68 mm/h. Em relação, a chuvadas com duração de 24 horas, os valores de intensidade referentes aos períodos de retorno mencionados são 3,05 mm/h e 9,09 mm/h, respectivamente. No caso das curvas de possibilidade udométrica INAG, os valores referentes à intensidade média da chuvada com duração de 1 hora, para o período de retorno de 2 anos e de 100 anos são respectivamente, 17,95 mm/h e 47,21 mm/h. Para chuvadas com duração de 24 horas, os valores de intensidade relativos aos períodos de retorno indicados são respectivamente 2,70 mm/h e 9,85 mm/h.

Teoricamente, as curvas PMD seriam as mais representativas, uma vez que foram obtidas especificamente para a região em estudo. Contudo, ao analisar os três conjuntos de curvas, verificou-se que as curvas LNEC e INAG apresentavam valores bastante similares, e acima dos valores relativos às curvas PDM. Apesar destas últimas serem relativas à região em estudo, o facto de apresentarem valores mais baixos, não confere uma abordagem conservativa, pelo que se optou por considerar os resultados obtidos pelas curvas LNEC e INAG.

No Quadro 5.8 e Quadro 5.9, apresentam-se os valores de caudais de ponta de cheia obtidos para $t=t_c$ e $t=2t_c$, por intermédio do método da Fórmula Racional, para os diferentes períodos de retorno considerados no estudo.

Quadro 5.8 - Caudais de ponta de cheia da sub-bacia do Paul de Tornada ($t=t_c$)

Caudais de ponta de cheia (m^3/s)					
Fórmula racional	Período de retorno (anos)				
	T=2	T=5	T=20	T=50	T=100
PMD	35,32	52,73	61,36	74,98	87,40
LNEC	46,21	88,82	110,28	144,87	179,98
INAG	42,34	92,30	116,72	154,81	189,74

Quadro 5.9 – Caudais de ponta de cheia para a sub-bacia do Paul de Tornada ($t=2t_c$)

Caudais de ponta de cheia (m^3/s)					
Fórmula racional	Período de retorno (anos)				
	T=2	T=5	T=20	T=50	T=100
PMD	21,29	31,79	36,99	45,20	52,69
LNEC	30,98	60,71	75,96	100,75	126,56
INAG	28,01	64,15	81,85	109,47	134,82

Para além dos caudais de ponta de cheia, determinou-se também o volume do correspondente hidrograma (Figura 5.28).

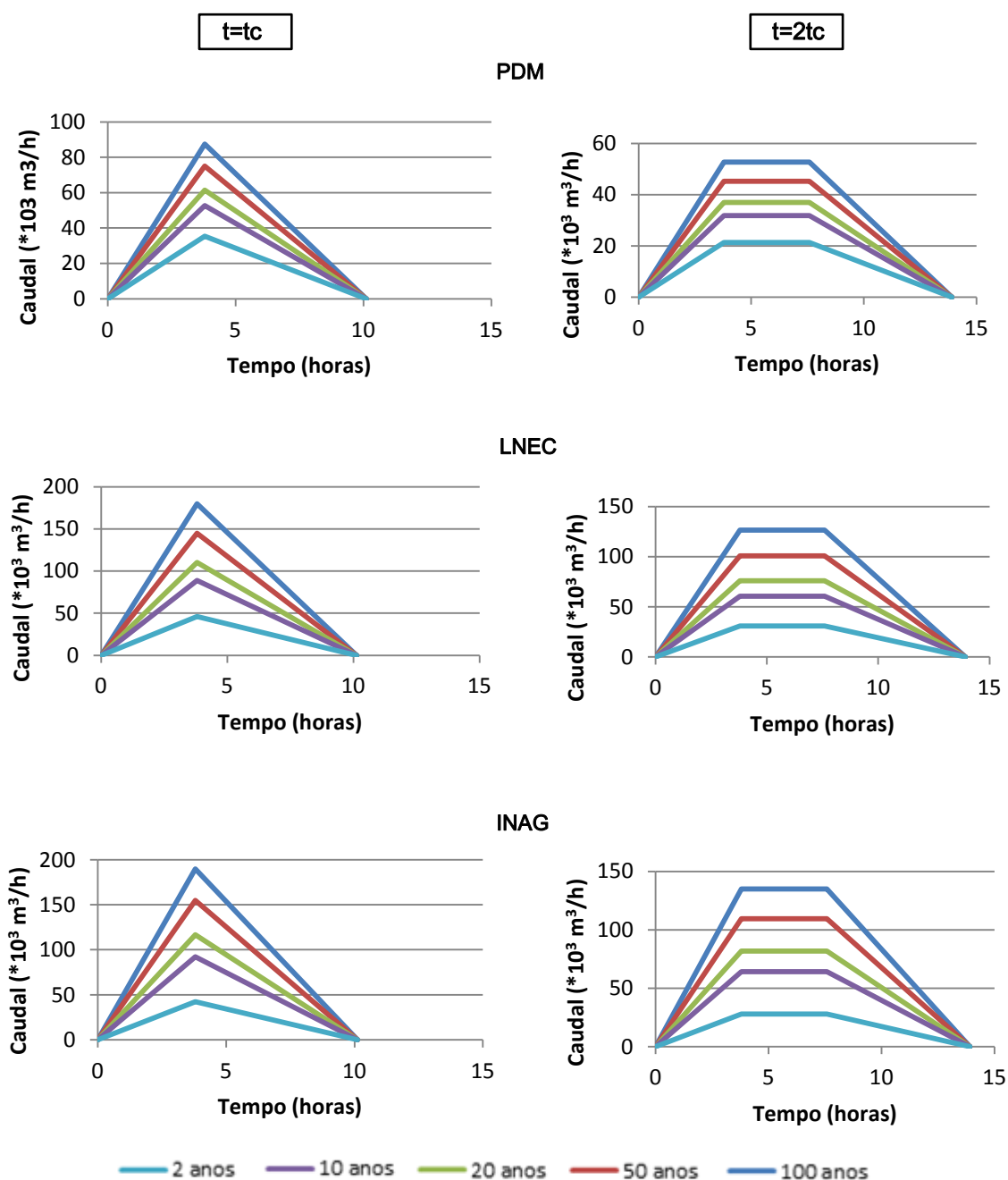


Figura 5.28 – Hidrogramas de cheias PDM, LNEC e INAG para $t=t_c$ e $t=2t_c$

Analisando os gráficos apresentados na Figura 5.28, verifica-se que em todos os hidrogramas, a fase ascendente é menos prolongada do que a fase descendente, o que se deve ao facto de, na fase inicial o caudal avançar mais rapidamente por não ter nenhum obstáculo. Na fase descendente, o escoamento tem mais dificuldade em prosseguir porque já tem escoamento à frente, demorando mais tempo a chegar à secção de saída da bacia (fenómeno conhecido por

histerese).

A relação tempo de concentração (t_c) e tempo de duração da chuvada (t) condiciona a existência de um ou mais pontos de inflexão no hidrograma. No caso em que, se considera a duração da chuvada igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica ($t=t_c$, ou seja, $t=3,79$ h), verifica-se a existência de um pico correspondente ao valor máximo de caudal, correspondente ao caudal de ponta de cheia. Esse pico resulta do facto do término do evento de precipitação coincidir com o momento em que toda a bacia contribui para o escoamento na seção de referência, estando associado ao problema da capacidade de vazão desse caudal pelo sistema. Neste caso, o hidrograma apresenta uma forma triangular. No caso em que se considera $t=2t_c$, ou seja $t=7,59$ horas, não se obtém o valor do caudal de ponta de cheia porque, sendo a duração da chuvada maior, é mais reduzida a sua intensidade. Verifica-se assim, que o correspondente hidrograma apresenta um patamar, com dois pontos de inflexão: o primeiro corresponde ao tempo de concentração ($t_c=3,79$ h) e o outro corresponde ao tempo de duração de chuvada ($t=7,59$ h). O patamar entre t_c e t ocorre, em função de, uma vez atingido t_c (contribuição simultânea de toda a bacia), a chuva prosseguir sem determinar o aumento do valor do caudal. O hidrograma assim obtido tem a forma trapezoidal.

Quando $t=2t_c$, verifica-se um aumento da duração da chuvada ($t>t_c$), diminuindo a intensidade média, assim como o correspondente caudal de ponta de cheia. Por outro lado, o tempo de base do hidrograma aumenta, registando-se necessariamente uma diminuição do valor máximo de caudal, o que gera um volume de escoamento de cheia superior ao registado no caso em que $t=t_c$. Deste modo, a diminuição do caudal e o aumento do volume de escoamento, origina um problema associado à capacidade de encaixe do volume inerente ao escoamento de cheia.

Analisando a Figura 5.28 e os Quadros 5.8 e 5.9, constata-se, como seria de esperar, que os caudais de ponta (Q_p) apresentam valores menores na situação em que $t=2t_c$. Os valores de Q_p referentes a PDM, na situação em que se admite $t=t_c$, situam-se entre 35,32 m³/h e 87,40 m³/h para períodos de retorno de 2 e 100 anos, respectivamente. Em relação, aos valores de Q_p referentes a LNEC são 46,21 m³/h e 179,98 m³/h, para períodos de retorno de 2 e 100 anos enquanto para INAG, os valores estão entre 42,34 m³/h e 189,74 m³/h para os mesmos períodos de retorno.

Na situação em que $t=2t_c$, os valores de Q_p relativos aos períodos de retorno são 21,29 m³/h para PDM, 30,98 m³/h para LNEC e 28,01 m³/h para INAG. Para o período de retorno de 100 anos, os Q_p obtidos foram 52,69 m³/h, 126,56 m³/h e 134,82 m³/h, para PDM, LNEC e INAG, respectivamente.

No Quadro 5.10 e Quadro 5.11 constam os volumes de escoamento correspondentes aos hidrogramas obtidos para a sub-bacia do Paul de Tornada, para os casos em que $t=t_c$ e $t=2t_c$, respectivamente.

Quadro 5.10 - Volume de escoamento da sub-bacia do Paul ($t=t_c$)

Volume de escoamento (m^3)					
$t=t_c$	Período de retorno (anos)				
	T=2	T=5	T=20	T=50	T=100
PMD	643 250	960 394	1 117 463	1 365 457	1 591 702
LNEC	841 593	1 617 684	2 008 465	2 638 372	3 277 697
INAG	771 147	1 681 037	2 125 587	2 819 387	3 455 551

Quadro 5.11 - Volume de escoamento da sub-bacia do Paul ($t=2t_c$)

Volume de escoamento (m^3)					
$t=2t_c$	Período de retorno (anos)				
	T=2	T=5	T=20	T=50	T=100
PMDA	678 587	1 013 153	1 178 851	1 440 470	1 679 143
LNEC	987 293	1 934 935	2 420 740	3 210 956	4 033 514
INAG	892 815	2 044 441	2 608 492	3 488 814	4 296 825

Apesar da sub-bacia do Paul representar uma percentagem pequena em relação ao resto da bacia, cerca de 6 %, a sua capacidade de retenção de água é relevante, reduzindo o caudal e a altura de água que chega a jusante. O volume de água do paul foi estimado através da área referente à zona alagada do Paul (45 ha) e da sua profundidade, como foi anteriormente mencionado, obtendo-se um valor de 675 000 m^3 .

6 MEDIDAS PARA MELHORAR O SISTEMA EM ESTUDO

No âmbito da gestão da RNL-PT, a associação PATO conjuntamente com o GEOTA e a CM das Caldas da Rainha, têm procurado promover diversas acções e implementar medidas com o intuito de conservar, valorizar e promover o Paul. A definição de medidas adequadas exige o conhecimento do sistema e do seu funcionamento, pelo que os trabalhos, pesquisas e projectos de investigação científica que vão surgindo sobre o Paul de Tornada constituem um contributo fundamental. Estes trabalhos permitem um maior conhecimento e compreensão da zona húmida e do seu funcionamento e, deste modo, revelam-se um apoio importante no estabelecimento de um conjunto de medidas que visem a melhoria, em diversas vertentes, relativamente a esta zona húmida. Em seguida, apresentam-se algumas propostas de medidas com relevância ao nível da qualidade da água e do controlo das cheias.

A monitorização da qualidade da água da sub-bacia do Paul de Tornada deve ser encarada como medida essencial, no âmbito da gestão da RNL-PT. É de interesse estabelecer um programa de monitorização periódica/contínua com o intuito de acompanhar a evolução da qualidade da água do Paul de Tornada. Deste modo, será possível detectar episódios de poluição, assim como, tendências e alterações a médio e longo prazo, e tomar medidas que permitam minimizar os danos ambientais e melhorar a qualidade da água. A monitorização de vários parâmetros seria, idealmente, realizada através da instalação de unidades de monitorização automática, em alguns pontos estratégicos do Paul.

Atendendo ao facto do Paul apresentar problemas de poluição, nomeadamente na vala da Palhagueira, e admitindo que esta zona húmida desempenha um papel de depurador natural, apresentam-se seguidamente algumas medidas que visam melhorar a sua capacidade de regulação da qualidade da água.

Como foi anteriormente mencionado, apesar das zonas húmidas apresentarem uma capacidade depuradora significativa, essa capacidade é finita. Desta forma, para evitar que seja ultrapassada a capacidade de carga do ecossistema e que este entre em ruptura, é essencial reduzir a quantidade de poluentes que chega ao Paul. Assim, deve proceder-se à inventariação/identificação das fontes de poluição de forma a definir e aplicar um conjunto de medidas e estratégias que promovam o controlo dessas fontes, reduzindo a poluição sobre a zona húmida e ecossistemas associados.

O facto de em torno da RNL-PT existirem bastantes terrenos agricultados, torna igualmente importante proceder à sensibilização dos agricultores para o uso racional de fertilizantes e pesticidas. A utilização excessiva destas substâncias, nomeadamente fertilizantes, traduz-se num aumento de nitratos, fosfatos e substâncias tóxicas no solo, os quais por lixiviação e infiltração chegam às linhas de água e aos lençóis freáticos. Elevadas concentrações destes compostos nas massas de água promovem o crescimento exagerado do fitoplâncton e da

vegetação aquática, cuja decomposição consome o oxigénio dissolvido na água, além de dificultar a passagem de luz e, conseqüentemente, a realização de fotossíntese. Este fenómeno, que se designa por eutrofização, constitui uma forte ameaçada à qualidade da água. Com esta sensibilização pretende-se diminuir a quantidade de poluentes com origem agrícola que chegam ao sistema, contribuindo assim para a não ultrapassar a capacidade de carga da zona húmida.

Outra medida igualmente importante para evitar a degradação da qualidade da água, consiste na limpeza regular das valas do Paul e no controlo do crescimento e expansão da vegetação, nomeadamente dos caniçais (*Phragmites australis*), efectuando o seu corte periódico, o que permite criar superfícies de “água livre”. Deve-se também, proceder ao controlo das plantas invasoras, de forma a impedir a sua proliferação e evitar todas as consequências nefastas que daí advém para os ecossistemas, nomeadamente a eutrofização.

No âmbito do controlo de cheias e inundações, é importante que todas as linhas de água, permanentes ou não, bem como outras linhas de drenagem, sejam geridas de modo a garantir a máxima retenção possível do escoamento, potenciando a sua infiltração e retardando a sua afluência a zonas de risco ou com usos susceptíveis a inundações.

É igualmente de elevada importância a adopção de medidas que visem evitar e/ou minimizar a degradação dos solos, uma vez que essa degradação implica uma diminuição na capacidade de retenção hídrica potenciando, entre outros efeitos, a ocorrência de cheias. A adopção de práticas agrícolas com mobilização de solo reduzida é uma das possíveis respostas a este problema.

Importa também salientar que a realização de campanhas de sensibilização constitui uma medida que tem repercussões na melhoria da RNL-PT. A população constitui um elemento-chave na protecção deste ecossistema e a sua sensibilização e envolvimento é indispensável. Ao sensibilizar a comunidade local e o público em geral para os valores, funções, potencialidades e importância desta zona húmida, e ao alertar para as ameaças que enfrenta, promove-se uma maior consciencialização, que se reflecte num novo modo de encarar o Paul.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHO FUTURO

7.1 Conclusões finais

Com a presente dissertação procurou-se contribuir para um maior conhecimento sobre o Paul de Tornada. Demonstrou-se que esta zona húmida apresenta valores naturais importantes, nomeadamente para a conservação da biodiversidade, e proporciona várias funções/serviços ambientais, que se traduzem em benefícios directos e indirectos para o ser humano. No entanto, verificou-se a necessidade de haver uma maior sensibilização, não só das entidades governamentais/institucionais mas, sobretudo, da comunidade em geral, relativamente aos inúmeros valores e funções deste ecossistema e à sua utilização sustentável. Com uma maior sensibilização, procura-se estimular a aproximação da comunidade a esta zona húmida, e consciencializá-la da importância de zelar pela conservação deste local. Alguns factores de perturbação externos, nomeadamente, a poluição proveniente de efluentes de origem urbana, industrial e agrícola têm levado a uma degradação da RNL-PT. A vala da Palhagueira parece ser a principal fonte de poluição deste sistema palustre. Contudo, é necessário fazer um maior acompanhamento de monitorização da qualidade da água.

O Paul assegura tanto serviços de suporte como serviços de produção e regulação, assim como serviços culturais. Neste trabalho efectuou-se a identificação e levantamento de alguns desses serviços, focalizando o estudo nos serviços de regulação, especificamente, na capacidade de retenção desta zona húmida e no efeito regulador das cheias deste ecossistema.

Os dados de qualidade da água relativos ao Paul de Tornada que se encontraram disponíveis não possibilitaram o estudo efectivo do potencial de depuração desta zona húmida. Contudo, a análise do caso de estudo do Paul de Arzila corrobora a importância das zonas húmidas na retenção de nutrientes e na reposição da qualidade da água. No caso de estudo referido, comprovou-se a retenção dos nutrientes por parte do Paul de Arzila. Este facto sugere que o Paul de Tornada, possivelmente, também deverá apresentar um potencial importante em termos de capacidade depuradora.

Ao nível do estudo sobre o efeito regulador do Paul nas cheias, verificou-se que esta zona húmida tem uma relevante capacidade de retenção, contribuindo para reduzir o caudal e a altura de água que chega a jusante.

No final do trabalho foram ainda, sugeridas algumas medidas para melhorar o sistema em estudo, em termos gerais, e ao nível da depuração de nutrientes, assim como no controlo de cheias.

Face aos objectivos inicialmente expostos, verificou-se que de um modo geral foram atingidos, contudo com algumas limitações. Relativamente à determinação da capacidade depuradora do

Paul de Tornada foi evidente a dificuldade de obter dados que possibilitassem um estudo efectivo. Como foi referido, apesar de inicialmente um dos objectivos ser efectuar a monitorização da qualidade da água e utilizar esses dados no presente estudo, não foi possível fazer a campanha de amostragem por motivos de logística. No entanto, foi elaborado uma sugestão de plano de amostragem, que consta no Anexo II, e que poderá ser utilizado em estudos futuros.

Ainda, relativamente ao estudo da depuração, poder-se-ia ter tentado estimar as cargas de poluição difusa e pontual, afluentes ao Paul de Tornada, e adoptar as taxas de remoção calculadas para o Paul da Arzila, de modo a efectuar-se uma estimativa do potencial em termos de capacidade de depuração da zona húmida em estudo. No entanto, devido a limitação de tempo, não foi possível.

Também em relação ao estudo das cheias, dever-se-ia ter efectuado a avaliação do potencial da zona húmida em termos de minimização do efeito das cheias associadas à sub-bacia onde o Paul se encontra inserido. Essa avaliação seria elaborada através da subtracção ao volume de cheia da capacidade de encaixe do Paul, considerando-se vários cenários.

A presente dissertação é uma primeira abordagem a questões que ainda não tinham sido objecto de estudo nesta zona húmida, pelo que a dificuldade em obter informação disponível sobre diversos aspectos esteve bem presente. Assim, pretende-se que este trabalho constitua um contributo e uma base para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

7.2 Recomendações para desenvolvimentos futuros

As necessidades de monitorização do sistema ficaram bem patentes e são uma condição indispensável, como trabalho futuro, para o estudo efectivo da capacidade depuradora do Paul de Tornada. Desta forma, recomenda-se a realização de campanhas de amostragem para determinar o potencial depurador desta zona húmida, conforme se sugere no Anexo II.

Propõe-se efectuar a identificação e caracterização das fontes de poluição, tanto de natureza pontual como difusa, da bacia hidrográfica do Paul. Assim, será possível definir e desenvolver acções que limitem a quantidade de poluentes que chegam a esta zona húmida e que têm contribuído para a sua degradação.

Uma recomendação mais ambiciosa prende-se com a elaboração de um modelo ecológico da RNL-PT, permitindo simular a dinâmica da zona húmida de modo a compreender melhor os processos e componentes deste ecossistema. Através do modelo poderá ser estudada a evolução do sistema a longo prazo, estabelecendo e simulando vários cenários de forma a avaliar o impacto provocado. A modelação ecológica será, certamente, um importante instrumento e contributo na gestão da RNL-PT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, A.; Silva, P. e Santos, S. (1999). *Importância das zonas húmidas no restabelecimento da qualidade da água – Um estudo ecotecnológico no Paul de Arzila (Coimbra)*. Projecto final de curso. Licenciatura em Engenharia ambiental e dos Recursos Naturais. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real.
- Almeida, C.; Mendonça, J.J.L.; Jesus, M.R. e Gomes, A. J. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Sistema Aquífero: Caldas da Rainha – Nazaré (O33). INAG, Centro de Geologia, pp.421-431
- Alves, J.; Santo, M.; Costa, J.; Gonçalves, J. e Lousã, M. (1998). *Habitats Naturais e Seminaturais de Portugal Continental. Tipos de habitats mais significativos e agrupamentos vegetais característicos*. Instituto da Conservação da Natureza), Lisboa, pp. 61-67
- Alves, J. M. (2001). *Flora e Vegetação de Zonas Húmidas*. Instituto da Conservação da Natureza. Seminário sobre Conservação de Zonas Húmidas. Auditório da Escola Superior Agrária de Ponte de Lima. Junho
- Andrade, D. C. e Romeiro, A. R. (2009). *Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano*. Instituto de Economia da Unicamp, Campinas. 44 páginas. [Online] // Acedido em: <http://www.eco.unicamp.br/docprod/downarq.php?id=1785etp=a>
- APA – Agência Portuguesa do ambiente (2013). *Água. Planeamento e Gestão*. [Online] // Acedido em: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16esubref=7>
- ARHTejo – Administração da Região Hidrográfica do Tejo (2011). *Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste*. Síntese para Consulta Pública – Versão extensa. Administração da Região Hidrográfica do Tejo I.P., Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território
- ARHTejo – Administração da Região Hidrográfica do Tejo (2011a). *Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste*. Fichas de Diagnóstico. Administração da Região Hidrográfica do Tejo I.P., Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território,
- ARHTejo – Administração da Região Hidrográfica do Tejo (2011b). *Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste*. Repositório de Mapas. Administração da Região Hidrográfica do Tejo I.P., Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território
- Associação PATO (s.d.) *Paul de Tornada*. Associação PATO – Associação de Defesa do Paul de Tornada [On line] // Acedido em: <http://www.associacao-pato.org>
- Associação PATO (2004). *Paul de Tornada - Sítio Ramsar*. Roteiro Ecológico das Caldas da Rainha; Município das Caldas da Rainha. Associação PATO. Câmara Municipal das Caldas da Rainha.

- Bárbaro, A. L. (2006).** *Relatório de estágio curricular na Associação de Defesa do Paul de Tornada*. Especialização em Qualidade Ambiental. Escola de Tecnologia e Gestão Industrial, AESBUC – Associação para a Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica. Caldas da Rainha.
- Barbier, E. B.; Acreman, M. C. e Knowler, D. (1997).** *Economic valuation of wetlands: A guide for policy makers and planners*. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland. [On line] // Acedido em: http://www.ramsar.org/pdf/lib/lib_valuation_e.pdf
- Barbosa, A. R. (s.d.).** *Escoamento Superficial*. Capítulo 6 in Elementos de Hidrologia Aplicada a Estudos de Graduação. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. [On line] // Acedido em: http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/16_escoamento%20superficial.pdf
- Boavida, M. J. (1999).** *Wetlands: Most relevant structural and functional Aspects*. Limnetica – Publicación científica impresa y electrónica. Asociación Ibérica de Limnología. Volumen 17. pp. 57-63 [On line] // Acedido em: http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne17/L17u057_Wetlands_structural_functional_aspects.pdf
- Brandão, C.; Rodrigues, R. e Costa, J. P. (2001).** *Análise de fenómenos extremos: Precipitações intensas em Portugal Continental*. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos. Lisboa
- CM das Caldas da Rainha – Câmara Municipal de Caldas da Rainha. (s.d.).** *Caracterização física, Ambiente e Clima*. Portal Caldas da Rainha. Ambiente e clima. [On line] // Acedido em: http://www.cm-caldas-rainha.pt/portal/page/portal/PORTAL_MCR/MUNICIPIO/INFORMACAO_CONCELHO/AMBIENTE_CLIMA
- CM das Caldas da Rainha (2009).** *Reserva Natural Local do Paul de Tornada*. Aviso n.º 11724/2009. Diário da República, 2.ª série — N.º 126 — 2 de Julho de 2009
- CM das Caldas da Rainha; ICNB; Associação PATO e GEOTA (2010).** *Plano de Gestão da Reserva Natural Local do Paul de Tornada*. Reserva Natural Local do Paul de Tornada. Caldas da Rainha. Pp 82
- CM de Óbidos – Câmara Municipal de Óbidos. (2005).** *Área de Paisagem Protegida de Âmbito Regional da Lagoa de Óbidos*. Dossier de Candidatura à Classificação (Versão Preliminar). [On line] // Acedido em: <http://www.cm-obidos.pt/>
- Catry, P.; Costa, H.; Elias, G. e Matias, R. (2010).** *Aves de Portugal. Ornitologia do território continental*. Assírio e Alvim, Lisboa, pp. 49- 53
- Chow, V. T.; Maidment, D. e Mays, L. (1988).** *Applied Hydrology*. McGraw-Hill International Editions. Civil Engineering Series. Pp 498
- Comissão Europeia (2009).** *Bens e Serviços Ecossistémicos*. União Europeia. [On line] // Acedido em: <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Eco->

systems%20goods%20and%20Services/Ecosystem_PT.pdf

- Dias, V. N.; Pacheco, P. M. e Soutinho, E. A. (2000).** *Fito-ETARs: mecanismo de depuração e papel das plantas*. 5º Congresso da água. Lisboa.
- Dobson, M. e Frid, C. (2009).** *Wetlands*. Chapter 8 in Dobson, M. e Frid, C., *Ecology of Aquatic Systems*. Oxford University Press, Second Edition, pp. 231-268
- Dodds, W. e Whiles M. (2010).** *Hydrology and Physiography of Wetland Habitats*. Chapter 5 in Dodds, W. e Whiles M., *Freshwater Ecology: Concepts e Environmental Applications of Limnology*. Academic Press. Second edition, pp.83-105
- EPA – United States Environmental Protection Agency (1988).** *Design Manual - Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. EPA/625/1-88/022. Office of Research and Development. Center for Environmental Research Information. [On line] // Acedido em: <http://water.epa.gov/type/wetlands/upload/design.pdf>
- EPA – United States Environmental Protection Agency (1996).** *Protecting Natural Wetlands. A Guide to Stormwater Best Management Practices*. Office of Water, 4502F, EPA-843-B-96-001, Washington, DC [On line] // Acedido em: http://water.epa.gov/type/wetlands/restore/upload/2003_07_01_wetlands_protecti.pdf
- EPA – United States Environmental Protection Agency (2001).** *Wetlands Functions and values of wetlands*, Office of Water, Office of Wetlands, Oceans and Watersheds (4502T), EPA 843-F-01-002c, September 2001 [On line] // Acedido em: http://water.epa.gov/type/wetlands/outreach/upload/fun_val_pr.pdf
- EPA – United States Environmental Protection Agency (2006).** *Wetlands: Protecting life and property from flooding*, Office of Water, EPA843-F-06-001; May 2006 [On line] // Acedido em: <http://water.epa.gov/type/wetlands/upload/flooding.pdf>
- EPA (2013).** *Wetland Fact Sheets* [On line] // Acedido em: http://water.epa.gov/type/wetlands/outreach/facts_contents.cfm
- European Commission (2007).** *LIFE Focus / LIFE and Europe's wetlands: Restoring a vital ecosystem*. Publications Office of the European Communities./LIFE, The financial instrument for the environment [On line] // Acedido em: <http://ec.europa.eu/environment/life/publications/lifepublications/lifefocus/documents/wetlands.pdf>
- Farinha, J. C. e Trindade, A. (1994).** *Contribuição para o Inventário e Caracterização de Zonas Húmidas em Portugal Continental*. Publicação MedWet/Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa
- Farinha, J. C.; Costa, L.; Trindade, A.; Araújo, P. R. e Silva, E. P. (2001).** *Zonas Húmidas portuguesas de importância internacional - Sítios inscritos na Convenção de Ramsar*. Instituto de Conservação da Natureza, Lisboa
- Farinha, J. C.; Araújo, P. R.; Silva, E. P. e Costa, L. (2003).** *Áreas protegidas em zonas húmidas*. Instituto de Conservação da Natureza; Centro de zonas húmidas, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente,

- Fernandes, J. P. e Cruz, C. S. (2011).** *Limpeza e Gestão de Linhas de Água - Pequeno guia prático*. Volume III, EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., Universidade de Évora
- Gabriel, R. e Martins, C. (1989).** *Paul de Tornada – recurso para as aves*. 1º Encontro ornitológico da Paul da Tornada, Associação de Defesa do Paul de Tornada, 1-2 Dezembro, alocações proferidas nas sessões de abertura e encerramento. pp 33-44.(96 pp. total)
- GEOTA – Grupo de Estudos de Ordenamento do Território e Ambiente. (s.d.).** [On line] // Acedido em: <http://www.geota.pt>
- Hammer, D. A. e Bastian, R. K. (1989).** *Wetlands Ecosystems: Natural water purifiers?*. Chapter 2, in *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment - Municipal, Industrial and Agricultural*, edited by Donald A. Hammer (editor). Lewis Publishers, Inc.
- ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. (s.d.).** *Reserva Natural Local do Paul de Tornada*. Natureza e áreas classificadas. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. [On line] // Acedido em: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ap/amb-reg-loc/res-natur-local-paul-tornada>
- ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. (s.d.a).** *Natureza e áreas classificadas*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. [On line] // Acedido em: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas>
- INAG – Instituto Nacional da Água (2002).** *Qualidade e usos da água*. Capítulo II in *Plano Nacional da Água 2002*. Volume I. 45 pp. Portal da água. [On line] // Acedido em: <http://portaldagua.inag.pt/PT/InfoTecnica/PGA/PNPlaneamento/PNA/Pages/default.aspx>
- Keddy, P. A. (2010).** *Wetland Ecology: Principles and conservation*. Cambridge University Press
- Lencastre, A. e Franco, F. (2006).** *Lições de Hidrologia*. Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia, 3ª edição, Universidade Nova de Lisboa.
- Lewis, W.M. Jr. (1995).** *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC.
- Maltby, E. e McInnes, R. (1997).** *Functions and Degradation of Wetlands*, Chapter 10 in Brune, D.; Chapman, D. V.; Gwynne, M. D.; Pacyna, J. M. (edited), *The Global Environment: Science, Technology and Management* (volume 1). Wiley-VCH, pp.165-185
- MAOTDR (2009).** *Articulação entre a Gestão da Água e a Conservação da Natureza e da Biodiversidade*. 1.ª edição. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, pp. 150
- Martins, C. e Caetano, A. (1992).** *2º Encontro do Paul de Tornada – Ecologia das Zonas Húmidas*. Comunicação: *Paul de Tornada*; Comunicações, Associação de Defesa do Paul de Tornada, 1-3 Maio, pp. 15-38 (120 pp total)
- Mavioso, J. F. (2010).** *Tratamento de águas residuais através de Leitões de Macrófitas: A influência da vegetação*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico.

- MedWet** – Mediterranean Wetlands Initiative (2005). *Base de Dados de Zonas Húmidas*. Pan-Mediterrânica. Portugal. Paul de Tornada. [On line] // Acedido em <http://medwetnet.icn.pt/medwet/index.php>
- Mendes, A. L. M. (2010).** *Fito-Etar uma eco-tecnologia aplicada ao tratamento de águas residuais: Análise do Comportamento Hidráulico*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Instituto superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa.
- Michaud, J. P. (2001).** *At Home with Wetlands: A Landowner's Guide*. Washington State Department of Ecology, 2nd edition. [On line] // Acedido em: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/publications/9031.pdf>
- Mieiro, C. (2000).** *Comunidades vegetais paludícolas: Controlo de vegetação expansiva nos pauis do Baixo Mondego – Melhoramento e gestão do habitat para aves aquáticas no Paul de Arzila*. Plano de estágios do ICN/1999. Reserva Natural do Paul de Arzila. Universidade de Coimbra.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005).** *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water*. Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC. [On line] // Acedido em: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>
- Millennium Ecosystem Assessment (s.d.).** *Millennium Ecosystem Assessment_ - Avaliação Portuguesa*. Folheto [On line] // Acedido em: <http://ecossistemas.org/pt/apresentacao.htm>
- Mitsch, W. J. e Gosselink, J. G. (2007).** *Wetlands*. John Wiley e Sons, Inc, 4th edition, New York.
- Oliveira, J. M. (2007).** *Diagnóstico e optimização do tratamento de águas residuais em leitos de macrófitas*. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (total pp.117)
- PDM das Caldas da Rainha – Plano Director Municipal de Caldas da Rainha (2009).** *Fase 1: Conjuntura Territorial de referência – Análise e Diagnóstico*. Componente temática 1: Estrutura Ambiental. Revisão do Plano Director Municipal de Caldas da Rainha. Gabinete de Planeamento e Urbanismo.
- Pereira, H. M.; Domingos, T.; Vicente, L. e Proença, V. (2009).** *Ecossistemas e Bem-Estar Humano. Avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment*, Relatório final. Escolar Editora, Lisboa.
- Pereira, R. S. (2004).** *Identificação e Caracterização das Fontes de Poluição em Sistemas Hídricos*. Revista Electrónica de Recursos Hídricos. IPH-UFRGS. V1, nº1, p. 20-36. [Online] // Acedido em: <http://www.abrh.org.br/informacoes/rerh.pdf>
- Portela, M. M.e Hora, G. R. (2002).** *Aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal Continental: valores do coeficiente C*. 6º Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos [On line] // Acedido em: http://www.civil.ist.utl.pt/~mps/Mod_hid/Bibliografia/artigo%20formula%20racional.pdf
- Porto, R. L.; Filho, K. Z. e Marcellini, S. S. (1999).** *Escoamento Superficial: Análise do*

- Hidrograma. Hidrograma unitário*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Hidrologia Aplicada. [On line] // Acedido em: https://www.google.pt/url?sa=terct=jeq=eesrc=sesource=webecd=1eved=0CC8QFjAAeurl=http%3A%2F%2Ffiles.engflorestal.webnode.com.br%2F200000008-d45cad5569%2Fapostila_hidrog_unitario.pdf&ei=BkeSUsaFH-Ks7QaiwoGoCQeug=AFQjCNFx_t19QvA7XgnIKWH13qounW7W4Qesig2=6IMHeeXPIhW5_zHHleO5Ngebvm=bv.56988011,d.ZGU
- Quercus (2011).** *Zonas húmidas continuam ameaçadas em Portugal*. Comunicados. Lisboa. [On line] // Acedido em: <http://www.quercus.pt/comunicados/2011/fevereiro/522-zonas-humidas-continuum-ameacadas-em-portugal>
- Ramsar Convention (s.d.).** The Ramsar Convention on Wetlands [On line] // Acedido em: http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_0__
- Ramsar Convention (2009).** *Wetland Ecosystem Services*. Set of Ramsar Factsheets profiles. [On line] // Acedido em: http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-pubs-info-ecosystem-services/main/ramsar/1-30-103%5E24258_4000_0__
- Ramsar Convention Secretariat (2013).** *The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971)*, 6th ed. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland. [On line] // Acedido em: <http://www.ramsar.org/pdf/lib/manual6-2013-e.pdf>
- Ramsar e Wetlands International (2001).** Information Sheet on Ramsar Wetlands (RIS) - Tornada Marsh. Categories approved by Recommendation 4.7 of the Conference of the Contracting Parties. Ramsar Sites Information Service. The Ramsar Sites Database. [On line] // Acedido em <http://sites.wetlands.org/reports/ris/3PT011en.pdf>
- REA (2011).** *Relatório do Estado do Ambiente 2011 Portugal*. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- REA (2012).** *Relatório do Estado do Ambiente 2012*. Áreas classificadas para conservação da natureza e biodiversidade. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. pp 74-75
- RNPA/CEZH (2004).** *Reserva Natural do Paul de Arzila, uma contribuição para o plano de gestão*. Reserva Natural do Paul de Arzila / Centro de Zonas Húmidas. Instituto de Conservação da Natureza. pp 76
- Serviço Meteorológico Nacional.** *Mapas de valores máximos anuais da quantidade de precipitação*. Acedido através do Protocolo do Trabalho prático nº2 – *Precipitação*. Hidrologia. Grupo de Disciplinas de Hidráulica. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia- Universidade Nova de Lisboa.
- Shutes, R. B. E.; Revitt, D. M.; Mungur, A. S. e Scholes, L. N. (1997).** *The design of wetlands systems for the treatment of urban run-off*. In *Wetland System for water Pollution Control 1996* edited by Haberl, R., Perfler, J. e Cooper, P.; Water Science e Technology, Volume 35,

Number 5, pp. 19-25. Published by Elsevier Science.

- Simões, A. (2007).** *Gestão do Caniçal na Reserva Natural do Paul de Arzila*. 1º Seminário sobre Conservação e Gestão de Zonas Húmidas. 3º Seminário de Sistemas Lagunares Costeiros. Resumo. Comunicações. Auditório da Escola Superior de Tecnologia do Mar de Peniche. [On line] // Acedido em: http://www.geota.pt/xFiles/scContentDeployer_pt/docs/articleFile76.pdf
- Silva, C. (s.d).** *Tipos de Paisagem. Rede Natura 2000*. Instituto Geográfico Português. [On line] // Acedido em: http://www.igeo.pt/atlas/cap1/Cap1e_4.html
- Silva, P. (2011).** *Cheias e inundações no território da cidade de Ovar: áreas susceptíveis, estudos de caso e ordenamento do território*. Dissertação de Mestrado Riscos Cidades e Ordenamento do Território, Ramo Prevenção de Riscos e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Silva, J. R.; Góis, D.; Rosário, A. e Amaral, L. (2012).** *Auditoria ao Cumprimento da Convenção sobre Zonas Húmidas de Importância Internacional (Convenção de Ramsar)*. Tribunal de Contas. Relatório de Auditoria nº 35 /12 – 2º secção. Novembro de 2012. Processo n.º 12/2012 – AUDIT. [On line] // Acedido em: http://www.tcontas.pt/pt/actos/rel_auditoria/2012/2s/audit-dgtrc-rel035-2012-2s.pdf
- SMAS das Caldas da Rainha (2009).** *Portal dos Serviços Municipalizados das Caldas da Rainha*. Município das Caldas da Rainha - Gabinete de Comunicação [On line] // Acedido em: <http://www.smas-caldas-rainha.pt/portal/page/portal/SMAS>
- SMAS das Caldas da Rainha (2012).** *Relatório e contas 2012*. Serviços Municipalizados de Água e Saneamento da Câmara Municipal das Caldas da Rainha.
- Smardon, R. (2011).** *Urban e Rural Treatment – Wetlands Manual: A New/Old Green Infrastructure*. [On line] // Acedido em: http://syracusecoe.org/EFC/images/allmedia/publications/Wetlands_Final-WebOptimized.pdf
- SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2012).** Base de Dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Instituto da Água, IP. [On line] // Acedido em: <http://snirh.pt>

Cartografia

Carta Militar de Portugal (1:25000), folha nº 326 – Caldas da Rainha, série M888, edição 4, Instituto Geográfico do Exército, 2004

ANEXOS

ANEXO I – Critérios para a Identificação de Zonas Húmidas de Importância Internacional, adoptados pela Convenção de Ramsar

- **GRUPO A** – Sítios que compreendem tipos de Zonas Húmidas representativos, raros ou únicos

Critério 1: A zona húmida contém um exemplo representativo, raro ou único de um tipo de zona húmida natural ou semi-natural na região biogeográfica em questão.

- **GRUPO B** – Sítios de Importância Internacional para a conservação de diversidade biológica

Critérios baseados em espécies e comunidades ecológicas

Critério 2: A zona húmida sustenta espécies vulneráveis, em perigo ou em estado particularmente crítico, ou comunidades ecológicas ameaçadas.

Critério 3: A zona húmida sustenta populações de espécies vegetais e/ou animais importantes para a manutenção da diversidade biológica de uma determinada região biogeográfica.

Critério 4: A zona húmida sustenta espécies vegetais e/ou animais numa fase crítica do seu ciclo biológico, ou oferecendo-lhes refúgio perante condições adversas.

Critérios específicos baseados em aves aquáticas

Critério 5: A zona húmida sustenta regularmente uma população de, pelo menos 20.000 aves aquáticas.

Critério 6: A zona húmida sustenta regularmente 1% dos indivíduos da população de uma espécie ou subespécie de aves aquáticas.

Critérios específicos baseados em peixes

Critério 7: A zona húmida sustenta uma proporção significativa de subespécies, espécies ou famílias de peixes autóctones, fases do seu ciclo biológico, interacções de espécies e/ou populações que sejam representativas dos benefícios e/ou dos valores da zona húmida, contribuindo assim para a diversidade biológica global.

Critério 8: A zona húmida constitui uma importante fonte de alimento, local de reprodução, maternidade ou migração para peixe, da qual dependem directa ou indirectamente os *stocks*.

Critérios específicos baseados em outros taxa

Critério 9: A zona húmida regularmente suporta 1% dos indivíduos em uma população de uma espécie ou subespécie de pantanal dependentes de espécies não-aviários animais.

ANEXO II – Plano de amostragem

O processo de monitorização da qualidade da água do Paul de Tornada, com vista à determinação do potencial depurador da zona húmida apresenta várias fases (Figura II-1). No presente trabalho apenas se elaborou a Fase 1 deste processo, ou seja, a definição do plano de amostragem, devido a limitações logísticas, como já foi anteriormente referido.

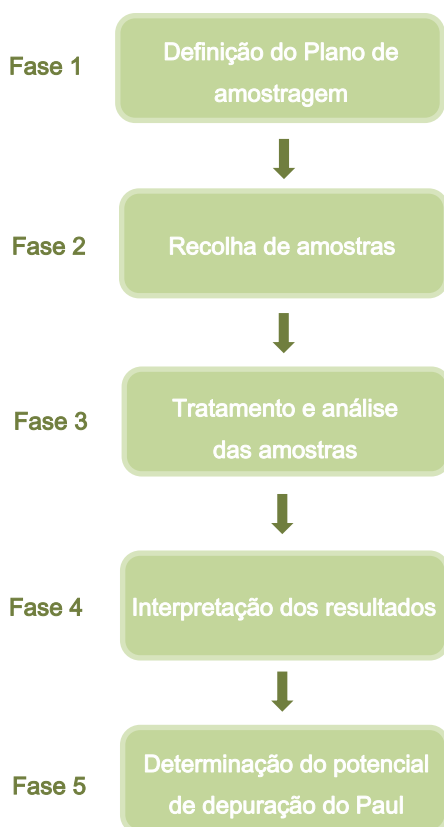


Figura II-1 - Fases do processo de monitorização da qualidade da água para o estudo da capacidade de depuração do Paul

É de salientar que a recolha de amostras (Fase 2) deverá ser efectuada de acordo com as técnicas de amostragem adequadas, garantindo a representatividade da amostra recolhida e, respeitando as orientações que constam nas normas internacionais de qualidade da água, relativamente à amostragem (ISO 5667). As condições de recolha, conservação e transporte e armazenamento devem garantir a não alteração da amostra. Em relação à Fase 3 (tratamento e análise das amostras), esta contempla medições de alguns parâmetros, preferencialmente, *in situ* e outros em laboratório. A interpretação dos resultados obtidos (Fase 4) permitirá aferir a qualidade da água do Paul. Posteriormente, através dos balanços entre as concentrações de fosfatos e compostos azotados, registadas à entrada e à saída do Paul, procurar-se-á retirar conclusões sobre o potencial de depuração da zona húmida (Fase 5).

Definição do plano de amostragem.

- **Objectivos:**

O objectivo da campanha de amostragem é, por um lado determinar a qualidade da água desta zona húmida e por outro, concluir acerca do seu potencial depurador.

- **Material:**

Deve-se proceder, previamente, à preparação de todo o material necessário para a campanha de amostragem, incluindo a verificação e calibração de cada equipamento a utilizar, tendo em consideração os parâmetros a monitorizar.

- **Tipo, Método e Periodicidade da Amostragem:**

As amostras recolhidas serão do tipo simples sendo representativas das características da origem no instante exacto da recolha. Portanto, é fundamental definir a localização, a hora e a profundidade em foi realizada a amostragem. A recolha da amostra será efectuada de forma manual e ao acaso, sem atender a qualquer padrão (Método Aleatório).

Sugere-se que a periodicidade definida para efectuar a recolha de amostras seja em regime quinzenal. No entanto, salienta-se que quanto maior o intervalo de amostragem, maior será o carácter pontual das medições, traduzindo apenas variações de cariz sazonal.

- **Localização dos pontos de amostragem:**

A selecção dos locais de recolha deve ter em consideração a representatividade dos pontos de amostragem no sistema em estudo, combinando critérios de abrangência espacial e pontos estratégicos. Deste modo, sugere-se a selecção de seis locais de recolha de amostras:

Estação#1 – Troço a montante do Paul

Estação#2 - Vala da Palhagueira

Estação#3 - Vala do Meio

Estação#4 – Vala de Guarda-Mato

Estação#5 - Lagoa interior do Paul

Estação#6 - Troço a jusante do Paul (troço de confluência das 3 valas)

A Figura II-2 ilustra a localização dos pontos de amostragem.



Figura II-2 - Localização dos pontos de amostragem

Fonte: Google Earth, 2013 (adaptado)

- **Parâmetros a monitorizar**

Para a determinação da qualidade da água e avaliação do potencial depurador desta zona húmida, seleccionaram-se alguns parâmetros a monitorizar, que constam no Quadro II-1.

Quadro II-1 - Parâmetros a monitorizar

	Parâmetro	Observações
Parâmetros físico-químicos	Temperatura (°C)	<p>A temperatura da água depende de vários factores, como por exemplo, a região e o clima. Este parâmetro afecta processos químicos, físicos e biológicos os quais influenciam outras variáveis de qualidade da água.</p> <p>Um dos efeitos mais importantes que a temperatura pode ter sobre a qualidade da água diz respeito às consequências que tem a nível da solubilidade dos sais e dos gases, da dissociação de substâncias dissolvidas, aumentando a condutividade, e também, a nível da determinação de alguns parâmetro, tais como o pH. Outro aspecto relevante é a sua influência sobre os organismos vivos (Mendes e Oliveira, 2004).</p> <p>É medido preferencialmente <i>in situ</i>.</p>
	Turbidez (mg/L)	<p>A turbidez está associada à presença de matéria em suspensão na água (silte, argila, partículas coloidais orgânicas e inorgânicas, plâncton e microrganismos). A turvação da água depende das substâncias que nela se encontram em suspensão. Quanto maior a turbidez da água, mais dificilmente esta é atravessada pela luz, dificultando assim os processos fotossintéticos e a produtividade dos ecossistemas em causa, daí a sua importância (Mendes e Oliveira, 2004).</p>
	pH	<p>O pH das águas naturais é influenciado por vários factores entre os quais, a vegetação e a natureza dos terrenos atravessados. As águas superficiais podem apresentar valores de pH anormalmente elevados, especialmente no Verão, como consequência da actividade biológica das algas. Variações bruscas de pH podem indicar presença de efluentes industriais (Mendes e Oliveira, 2004).</p> <p>É medido preferencialmente <i>in situ</i>.</p>

	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	A condutividade permite determinar o grau de mineralização de uma água, uma vez que existe relação entre o teor de sais minerais dissolvidos na água e a resistência que a esta oferece à passagem da corrente eléctrica. Esses sais podem ter origem em processos de lixiviação dos solos ou podem provir de efluentes e resíduos agrícolas e/ou industriais, que contaminam essas águas (Mendes e Oliveira, 2004). É medido preferencialmente <i>in situ</i> .
	Oxigénio dissolvido (mg/L)	A concentração de oxigénio dissolvido nas massas de água depende da temperatura, turbulência, actividade fotossintética entre outros. É essencial para todas as formas de vida aquática e tem papel fundamental no processo de autodepuração. É um parâmetro essencial na avaliação do nível de poluição, nomeadamente a orgânica (Mendes e Oliveira, 2004). É medido preferencialmente <i>in situ</i> .
Parâmetros relativos a matéria orgânica	Carência Bioquímica de Oxigénio, CBO_5 (mg/L)	A Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) representa a quantidade de oxigénio consumido pelos microrganismos na oxidação da matéria orgânica presente numa água. Se a quantidade de matéria orgânica for baixa, as bactérias decompositoras necessitarão de pequena quantidade de oxigénio para decompô-la, então a CBO será baixa (Pereira, 2004). Devido a este processo de oxidação ser, relativamente lento, convencionou-se tomar, como parâmetro representativo do teor em matéria orgânica de uma água, o valor da CBO ao fim de cinco dias de incubação, a 20 °C (CBO_5).
	Carência Química de Oxigénio, CQO (mg/L)	A Carência Química de Oxigénio (CQO) é a quantidade de oxigénio exigida para oxidação química completa da matéria oxidável total presente nas águas, tanto orgânica como inorgânica (Pereira, 2004). Valores elevados deste parâmetro podem indicar problemas de contaminação das massas de água por efluentes industriais. Conjuntamente com o teste de CBO, o teste de CQO é útil na indicação da toxicidade de um efluente e da presença de substâncias orgânicas biologicamente resistentes.
Parâmetros relativos a substâncias indesejáveis	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Estão na origem da turbidez que a água pode apresentar e compreendem argilas, limo, areias, lamas diversas, partículas coloidais orgânicas, microrganismos, etc. Podem ter origem geológica, ecológica ou antropogénica (Mendes e Oliveira, 2004). Elevados teores de sólidos suspensos totais podem provocar desequilíbrios nos ecossistemas, nomeadamente, prejuízos na vida aquática devido a uma diminuição da penetração da luz e diminuição do oxigénio dissolvido. Uma outra consequência negativa advém da deposição desses materiais em zonas de estagnação ou de movimentação lenta, ou a eventual criação de zonas aeróbias na vasa e consequente libertação de cheiros desagradáveis (Mendes e Oliveira, 2004).
	Azoto amoniacal (mg/L)	O azoto amoniacal presente na água provém, geralmente, de processos degradativos de materiais residuais de origem vegetal ou animal, podendo aparecer na água na forma iónica (ião amoníaco, NH_4^+) ou na forma não ionizada (amoníaco, NH_3). A presença deste composto em sistemas aquáticos naturais pode originar um desenvolvimento excessivo de organismos e diminuição de oxigénio dissolvido na água, entre outros. Valores anormais deste parâmetro deverão ser interpretados, tendo em atenção os teores em nitritos e em nitratos e a população microbiana presente (Mendes e Oliveira, 2004).

	Nitratos (mg/L)	<p>Os nitratos (NO_3), correspondem a um produto final de oxidação do azoto, sendo um dos constituintes azotados de maior importância na medida em que constituem, por um lado, um componente essencial à formação da biomassa das plantas e dos animais e, por outro, funcionam como um poluente importante das águas superficiais e subterrâneas (Mendes e Oliveira, 2004).</p> <p>A presença de nitratos (e de outros nutrientes, principalmente fosfatos) nas águas superficiais pode ser responsável pelo desenvolvimento exuberante de vegetação, nomeadamente de algas, o que se traduz na eutrofização dessas massas de água (Mendes e Oliveira, 2004).</p>
	Nitritos (mg/L)	<p>Os nitritos (NO_2) são produto da oxidação do azoto amoniacal ou da redução dos nitratos (Mendes e Oliveira, 2004). Na água, em condições oxidativas normais, a conversão dos nitritos em nitratos é quase imediata, pelo que a sua presença deverá ser pontual e instantânea. Qualquer acumulação reflecte a existência de processos inibitórios da formação dos nitratos (Mendes e Oliveira, 2004).</p> <p>A sua formação pode ter origem biológica, resultante da redução microbiana dos nitratos, ou química, por oxidação do amoníaco proveniente da esterilização/desinfecção das águas. Em condições de reduzida oxigenação, ou em contacto com alguns tipos de solo podem detectar-se teores anormais em nitritos, independentemente de qualquer tipo de poluição azotada (Mendes e Oliveira, 2004).</p>
	Fósforo (mg/L)	<p>O fósforo encontra-se presente na natureza, sob a forma mineral e orgânica. Normalmente encontra-se presente nas águas interiores sob a forma de fosfatos (P_2O_5). Nas águas doces superficiais, o teor em fosfatos tem de ser cuidadosamente controlado uma vez que constitui o factor limitante primário dos processos de eutrofização (Mendes e Oliveira, 2004).</p>
	Coliformes fecais e totais	<p>Podem ser provenientes de fontes pontuais (descargas urbanas ou de origem agropecuária) ou de fontes difusas (lixiviação de campos agrícolas ou pastoris). Constituem um parâmetro indicador de poluição de origem fecal. Normalmente, na determinação do parâmetro <i>coliformes fecais</i>, considera-se a <i>Escherichia coli</i> (Mendes e Oliveira, 2004).</p>
	Estreptococos fecais	<p>Grupo de bactérias presente em matérias fecais dos organismos de sangue quente. Este parâmetro indica contaminação por origem fecal (Mendes e Oliveira, 2004).</p>
	Parâmetros microbiológicos	